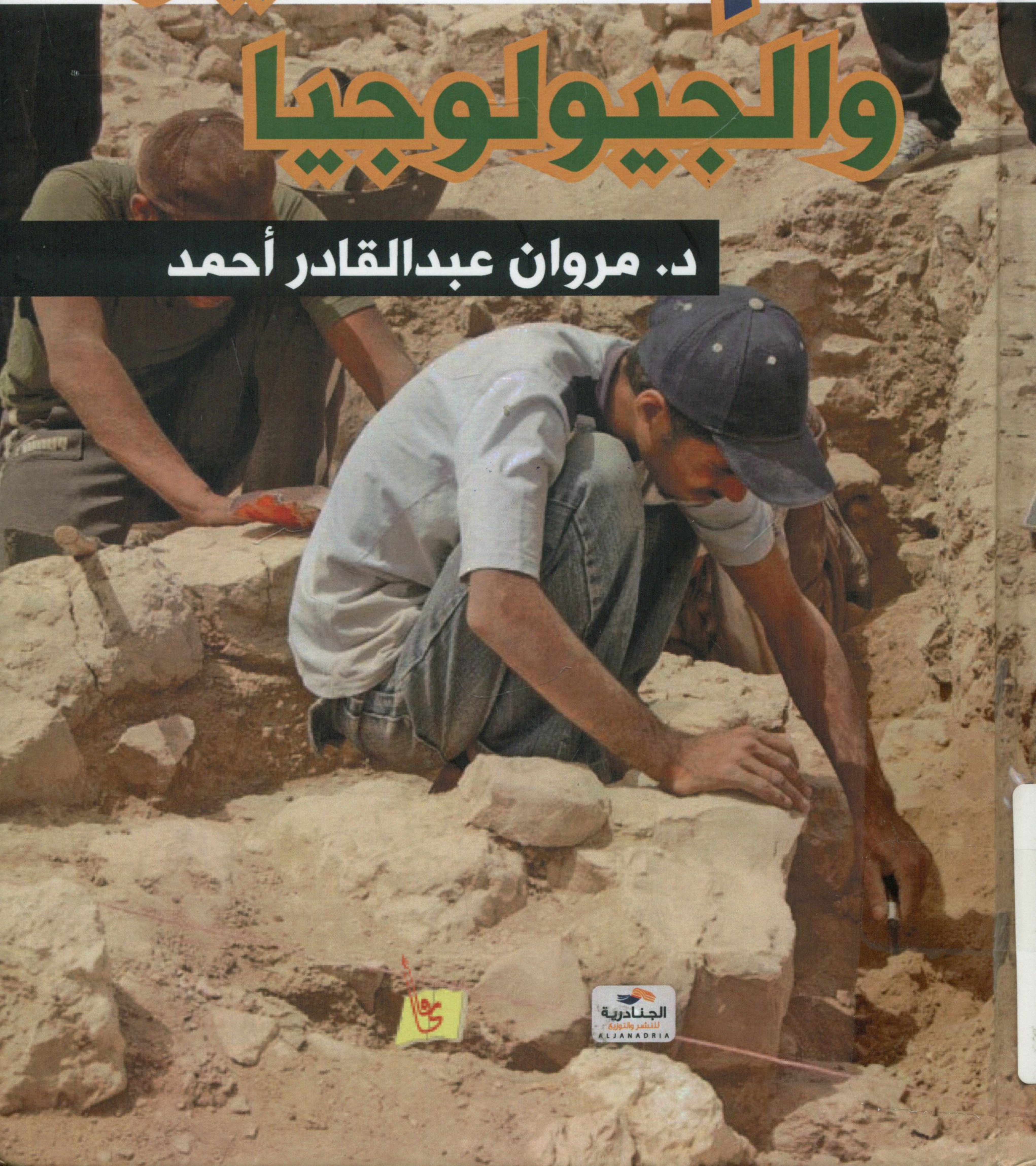


علم الأُحافير

والجيولوجيا

د. مروان عبدالقادر أحمد



علم الأحياء والجيولوجيا

د. مروان عبدالقادر أحمد

الطبعة الأولى 2016



ISBN: 978-9957-580-78-0

المملكة الأردنية الهاشمية

رقم الإيداع في المكتبة الوطنية

2015/10/4974

551.7

إسم الكتاب: علم الأحافير والجيولوجيا

إسم المؤلف: مروان عبدالقادر أحمد

الواصفات: علم التحات//الجيولوجيا/

حقوق الطبع محفوظة للناشر

يمنع إعادة نشر أو طباعة أو تصوير
الكتاب أو محتوياته، ويمنع سحب
نسخ الكترونية من الكتاب وتوزيعها
ونشرها دون إذن خطي من الناشر.

وأي مخالفة لما ذكر يعتبر إساءة
لحقوق الملكية الفكرية للناشر
والمؤلف ويعرض للمسائلة القانونية
والقضائية.



الجنادرية
ننشر وانتوزع
AL JANADRIA

الأردن - عمان

جوال: 962796296514

تلفاكس: 96264778770

ص.ب 520651 عمان 11152 الاردن

E-mail: dar_janadria@yahoo.com

Dar_yafa@yahoo.com

المقدمة

علم الجيولوجيا هو العلم الذي يختص بدراسة الأرض وطبقاتها وخواصها، منذ نشأتها ومروراً بالعمليات البيئية والصناعية الأخرى التي تؤثر في تكوينها وتركيبها والظواهر المتعلقة بالأرض مثل الزلازل والبراكين وغيرها، إذن فعلم الجيولوجيا يتناول كل مايتعلق بالأرض من ظواهر وما يؤثر فيها سواء كانت عوامل داخلية أو خارجية، طبيعية أو صناعية.

على هذا الأساس تركز دراسة الجيولوجيا على دراسة الحفريات المجهرية والغير المجهرية وتحليل الرواسب المعدنية لتحديد مواقع المناجم، ومتابعة تحركات الصخور في طبقات الأرض العميقة وأيضاً تحليل الصخور للتعرف على العصور والحقب التاريخية المختلفة وإستغلالها إقتصادياً، وكلمة "جيولوجيا" هي كلمة ذات أصل يوناني حيث تعني "جى" الأرض وتعني "لوجى" علم أى علم الأرض. كما يدخل ضمن تخصصات الجيولوجيا أيضاً دراسة الظواهر الجيولوجية البيئية مثل مسارات الوديان، وتأثير السيول على التوازن البيئى، وتحركات الكتلان الرملية، ودراسة ظواهر التصحر وتآكل الشواطىء؛ بالإضافة إلى إهتمام علم الجيولوجيا بالتركيبات البنائية والصخرية الأثرية ودراسة مواقعها وتأثير عوامل التعرية عليها، بالإضافة إلى مساعدة المؤرخين ودارسى التاريخ فى عملهم للوقوف على سمات فترات تاريخية معينة. لذلك تعتبر دراسة الجيولوجيا فى الخارج دراسة متميزة لما تتميز به الدراسة من إمكانات تكنولوجية متقدمة متاحة أمام الدارسين حيث تعتمد الدراسة على التخلّى عن أساليب

الدراسة التقليدية والأستعانة بأساليب الدراسة العملية والتقنيات العلمية المتطورة
جنباً إلى جنب مع الدراسة النظرية.

المؤلف

الفصل الأول

التعريف وأصل المصطلح

تعريف علم الجيولوجيا Geology

الجيولوجيا هي علم الأرض، أي العلم الذي يبحث في كل شئ يختص بالكرة الأرضية من حيث تركيبها، وكيفية تكوينها، والحوادث التي تتعاقب عليها منذ نشأتها الأولى.

وكذلك يبحث هذا العلم في حالة عدم الاستقرار والتغير المستمر، الذي يحدث للكرة الأرضية نتيجة لتأثير عمليات وقوي مختلفة، سواء كانت هذه القوي من خارج الأرض أو من داخلها. كما يبحث في نتائج هذا التغير.

ومن أهم فروع الجيولوجيا ما يلي :

1-الجيولوجيا الكونية : Cosmology

تختص الجيولوجيا الكونية بدراسة أصل الأرض وصلتها بالأجرام السماوية وطبيعة تكوين هذه الأجرام، ومقارنة ذلك بطبيعة تكوين الأرض.

2-الجيولوجيا الطبيعية: Physical Geology

تختص بدراسة العمليات الطبيعية التي أثرت ومازالت تؤثر على القشرة الأرضية، والتي شكلت ولا تزال تشكل تضاريس الأرض حتى أصبحت على ما هي عليه الآن، وما يمكن أن تقوم ل إليه في المستقبل.

3- علم المعادن : Mineralogy

يشمل علم المعادن دراسة المعادن من حيث صفاتها الطبيعية والكيميائية والتعرف عليها، كما يشمل دراسة وجودها كمواد خام وطرق استخلاصها.

4- علم البلورات : Crystallography

يختص هذا العلم بدراسة البلورات من حيث شكلها الظاهري وتركيبها والتعرف عليها وعلي الصخور والمعادن التي تحتويها.

5- علم الصخور : Petrology

يدرس علم الصخور تركيب الصخور وكيفية تكوينها، والمواد التي تنتج من تفتيتها وتحليلها والتغيرات التي تطرأ عليها، والعوامل التي تؤثر فيها.

6- الجيولوجيا التركيبية : Structural geology

تختص الجيولوجيا التركيبية بدراسة بناء الكتل الصخرية، تهتم بصفة خاصة بدراسة تصدع القشرة الأرضية وتشققها والتواء طبقات صخورها نتيجة القوي التي تتعرض لها من ضغط وشد.

7- الجيولوجيا الاقتصادية : Economic geology

وتشمل دراسة الرواسب المعدنية ذات القيمة الاقتصادية مثل القصدير والرصاص والنحاس والذهب، ومعرفة أماكن وجودها.

كما تشمل دراسة أحجار البناء والزخرفة كالرخام والجرانيت، بالإضافة إلى التطبيق العملي للجيولوجيا في خدمة الإنسان ولخيرته مثل البحث عن مصادر المياه الأرضية والبحث عن البترول و استخراجها، دراسة التربة، تطبيق الأسس الجيولوجية عند إقامة المشروعات الهندسية مثل بناء المدن وتشديد الخزانات والسدود والطرق.

8-الجيولوجيا التاريخية : Historical geology

ويمكن استعراض الجيولوجية التاريخية من خلال دراسة كل من علم وصف الطبقات، علم الاحافير.

(أ) علم وصف الطبقات Stratigraphy، والي يبحث في تتابع طبقات الصخور وترتيبها في نظام زمني بالنسبة لبعضها.

(ب) علم الاحافير Paleontology الذي يبحث في دراسة بقايا الأحياء التي تحتوي عليها الطبقات الرسوبية. ويشمل أيضا دراسة البيئة القديمة ودراسة المناخ القديم.

9-المساحة الجيولوجية : Geological Surve

وتختص بتمثيل الأشكال التضاريسية لطبقات الصخور، وصفاتها الطبيعية، وتركيبها الجيولوجي والعصر الجيولوجي الذي تكونت فيه في خرائط تطابق الواقع باستعمال مقياس رسم مناسب.

أهمية دراسة الجيولوجيا من الناحية الزراعية

مما سبق تلاحظ كثرة فروع الجيولوجيا، وهذا يوضح مدى أهمية هذا العلم من الناحيتين الأكاديمية والاقتصادية.

فمن الناحية العلمية... استطاع علم الجيولوجيا أن يضئ لنا طريق البحث في تاريخ الأرض ونشأتها وتكوينها، وما ظهر عليها من تغيرات أدت إلى بناء قاراتها وجبالها، وتطور الكائنات الحية التي سكنت سطحها.

ومن الناحية التطبيقية الاقتصادية فإن الجيولوجيا ما كان لها أن تتقدم كعلم يخطو خطواته الواسعة، لولا العامل الاقتصادي، لأن مدنيتنا الحديثة التي قامت على العلم والصناعة قد ضاعفت كثيرا من قيمة المعادن والصخور المكونة للقشرة الأرضية.

كما يمكن دراسة أهميه الجيولوجيا من الناحية الزراعية من خلال دراسة مصادر المياه الجوفية في محافظة شمال سيناء كأحد مصادر المياه الأروائية المحلية. وقد أوضحت دراسة دياب ، بأنه توجد المياه الجوفية في خمس وحدات جيولوجية مميزة هي :

- (1) ترسيبات الرمل والحصى من العصر الرباعي (مستودع صخور الحقب أو الزمن الرابع) حيث يبلغ عدد الآبار التي تستمد مياهها من هذا المستودع بحوالي 204 بئر أهلي وحكومي في شمال سيناء.
- (2) طبقات الحجر الجيري من العصر الايوسين حيث تتواجد بعض العيون التي تستمد مياهها من هذه الطبقات مثل عين الجديرات.

(3) صخور العصر الكريتاوي الأوسط وهي تبشر بإمكانات مستقبلية للمياه الصالحة خاصة في مناطق وسط سيناء.

(4) صخور العصر الكريتاوي السفلي حيث تحوي صخور الحجر الرملي النوبي مياه جوفية ذات نوعية صالحة للاستخدام في غالبية مناطق وسط سيناء.

(5) صخور العصر البوراسي، وهي توجد في وسط سيناء في صورة أحجار رملية متداخل فيها طبقات من الطفلة مكونة وحدة من وحدات الحجر الرملي النوبي الحامل للمياه الجوفية الصالحة للاستخدام.

ويتضح مما سبق ذكره، أن مستودع صخور الحقب الرابع هو المصدر الرئيسي للمياه الجوفية في منطقة العريش والساحل الشمالي الشرقي في سيناء حيث أن معدل الإنتاج الآبار فيها مرتفع. بالإضافة إلى أن نوعية المياه الجوفية التي يحويها هذا المستودع تعتبر ذات ملوحة مقبولة وتكاليف إنشاء الآبار منخفضة وذلك نظرا لارتفاع مستوى المياه الجوفية في هذه المنطقة.

كما أوضحت نتائج الدراسة السابقة، أن مصدر تغذية الخزان الجوفي في منطقة شمال سيناء هو التسرب الرأسي لمياه تكوين الحجر النوبي الرملي الحامل للمياه الجوفية خلال فالق لحقن جنوب مدينة العريش، والتسرب الأفقي المحتمل من تكوينات العصرين الكريتاوي والأيوسيني بمناطق شرق البحر المتوسط حيث الأمطار والعواصف المطيرة بحوض وادي العريش وكذلك أحواض الوديان بالمنطقة، وسلاسل جبال وسط وشمال سيناء. وأن احتمال تغذية مستودع

الحقب الرابع عن طريق المياه المدفوعة من مستودع الحجر الرملي النوبي أمر قام.

ومن خلال دراسة كل من مصادر المياه الجوفية تغذية الخزان الجوفي، يمكن تقدير كمية المياه الجوفية المتاحة وذلك على أساس حساب الميزان المائي للأحواض المائية.

الأغلفة المكونة للأرض بوجه عام

من المعروف أن الكرة الأرضية تتكون من مواد مختلفة، فمنها ما هو في حالة غازية ومنها ما هو في حالة سائلة أو صلبة. ولتبسيط الدراسة يمكن التعرف على ثلاثة أجزاء رئيسية طبيعية لمكونات الأرض كما يلي :

أولا : الغلاف الجوي : Atmosphere

هو الجزء الغازي الذي يحيط بالكرة الأرضية إحاطة تامة ويمتد على الأقل ما يقرب من 250 ميلا من سطح الأرض، ونسبة وزنه إلى وزن الأرض تعادل 1 : 200,000 وتقل كثافة هذا الغلاف الغازي كلما ابتعدنا عن سطح الأرض، ويبلغ متوسط ضغطه عن سطح البحر ما يعادل 14,7 رطل على البوصة المربعة = (76 سم / زئبق). ويتكون هذا الغلاف من خليط من النيتروجين والأكسجين بنسبة 1:4 تقريبا (79,4 : 20,6 %)، وهذا بالإضافة إلى كميات صغيرة من الأرجون والأمونيا وغازات كبريتية وبخار الماء ثاني أكسيد الكربون بجانب بعض الأبخرة الأخرى والأتربة البركانية. وقد أمكن التعرف على ثلاث نطاقات رئيسية في الغلاف الجوي هي، من أسفل إلى أعلى :

(1) تروبوسفير Troposphere.

(2) ستراتوسفير Stratosphere.

(3) أيونوسفير Ionosphere.

وذلك على أساس نوع ونسبة الغازات السائدة، واتجاه حركة هذه الغازات، ومتوسط درجة الحرارة ومعدل تغيرها في كل من هذه النطاقات.

ومن المعتقد أن تركيب الغلاف الجوي كان مختلفا في العصور الجيولوجية القديمة عن تركيبه الحالي وخاصة في نسبة الأكسجين وثاني أكسيد الكربون ويمكن الاستدلال على هذا الاختلاف في التركيب من النسبة العالية لعنصر الأكسجين الداخل في تكوين صخور القشرة الأرضية وكذلك من كمية الرواسب الفحمية التي تكونت من الغابات الكثيفة التي كانت منتشرة في تلك الأزمنة الغابرة في كثير من أنحاء الأرض.

ولهذا الغلاف الحيوي أهميته الجيولوجية من حيث نشاطه الكيميائي والطبيعي الذي يؤثر تأثيرا فعالا على سطح الأرض، إذ يؤكد الأكسجين المعادن والصخور التي تكون القشرة الأرضية مكونا بذلك مواد جديدة، كما أن ثاني أكسيد الكربون القابل للذوبان في الماء يكسبه قدرة ظاهرة على إذابة بعض الصخور وخاصة الجيرية منها. أما عن النشاط الطبيعي لهذا الغلاف فيكفي التنويه إلى عمل الرياح الذي يساعد في تفتيت صخور القشرة الأرضية وكذلك حملها ونقلها من مكان لآخر.

ويمكن تلخيص العمل الجيولوجي لهذا الغلاف الجوي في أنه عمل هدام للسطح الخارجي للقشرة الأرضية في وقت نشاطه في مكان ما في حين أنه عمل بنائي في نفس الوقت في مكان آخر .

ثانيا : الغلاف المائي : Hydrosphere:

يتكون هذا الغلاف من مياه المحيطات والبحار والبحيرات والأنهار، أي أنه يشمل كل مجاري المياه السطحية، وكذلك المياه الموجودة تحت سطح الأرض والمعروفة بالمياه الجوفية التي تتخلل الصخور المسامية وتتسرب خلال الشقوق والفجوات في الصخور الأخرى إلى عمق قد يصل إلى آلاف الأقدام من سطح الأرض.

ويغطي الغلاف المائي ما يقرب من ثلاثة أرباع سطح الكرة الأرضية، ويختلف نوع المياه من مكان لآخر في هذا الغلاف وذلك تبعا لكمية الأملاح الذائبة فيه، فتزداد درجة الملوحة في البحار في البحار المقفولة عنها في البحار المفتوحة وهذه أكبر بقليل من درجة الملوحة في المحيطات وذلك حسب كمية كلوريد الصوديوم الموجودة في كل منها.

في حين أن مياه الأنهار عذبة إذا ما خلت من هذا الملح ولكن أحيانا تكون في حالة وسط بين الملوحة والعذوبة (دلة أو ماسخة Brackish) وخاصة عند تقابل مياه الأنهار والبحار عند المصببات، ويحتوي ماء البحر على كميات متفاوتة من الأملاح المذابة، منها كلوريد الصوديوم وكلوريد الماغنسيوم، ومن الكبريتات : كبريتات الماغنسيوم والكالسيوم والبوتاسيوم ثم كربونات الكالسيوم.

والمعروف أن كربونات الكالسيوم الموجودة في مياه البحار ذات أهمية جيولوجية خاصة رغم أن كميتها لا تتعدى 0,34 ٪ من كمية الأملاح الأخرى، فقد تستعملها الحيوانات البحرية لبناء الهياكل العظمية الخاصة بها من أصداف ومحارات أو أغلفة وقشور لها، وتؤدي هذه الهياكل العظيمة - بعد موت الكائنات الحية الحاوية لها - إلى تكوين الطبقات الرسوبية الجيرية بتراكمها فوق بعضها في قاع البحار والمحيطات.

ولا يمكن إهمال الأثر الجيولوجي للغلاف المائي على سطح القشرة الأرضية بل وما تحت السطح، فالمياه عامل هدام إذ أنها تفتت الصخور وتحملها من مكان لآخر مثل الأمطار والسيول الجارفة والأمواج الصاخبة على سطح القشرة الأرضية.

ومن ناحية أخرى فإن لهذا الغلاف عمل بنائي إذ أن المياه تحمل وتنقل المواد التي سبقت أن هدمتها وكسرتها وفتنتها، ثم ترسبها في أماكن أخرى.

منذ القدم ارتبط الماء بالحياة نفسها قال تعالى " وجعلنا من الماء كل شيء حي " ومما لا شك فيه إن الماء كان ولا يزال أولى أساسيات بقاء الإنسان وازدهاره. قديماً نشأت الحضارات حول مصادر المياه وحتى يومنا هذا يعتبر الماء أولى أساسيات قيام الدول القوية. وإذا كانت معظم نزاعات وحروب البشر السابقة مردها التنافس على الثروات والأراضي والسلطة فإن حروب البشر القادمة سوف تكون صراع على مصادر المياه كما تشير معظم الدراسات الاستراتيجية، خاصة وإن هناك تزايد كبير على الماء بسبب تزايد سكان الأرض وبسبب تصاعد النشاطات الصناعية والزراعية والخدمية التي تحتاج للماء.

تعريف علم المياه والري

علم المياه أو الـ " هيدرولوجيا " هو علم يهتم بالمياه التي نجدها على سطح الكرة الأرضية وكذلك فوقها وتحتها، بتشكلها، بدورانها، وبتوزعها زمانياً ومكانياً، بخواصها البيولوجية، الفيزيائية والكيميائية وتفاعلها مع بيئتها بما فيها الكائنات الحية.

أو هو علم يدرس العمليات التي تتحكم بتذبذبات المصادر المائية للسطوح الأرضية، ويهتم بالمراحل المختلفة للدورة الهيدرولوجية.

ويمكن أن يقال: إن علم المياه هو العلم الذي يدرس العمليات التي تحكم استنفاد وتجديد الموارد المائية لمساحات الأراضي، ويعالج المراحل العديدة لدورة الماء (في الطبيعة).

وجاء في كتاب " أبجد العلوم " باسم ((علم الريافة وهو: معرفة استبناط الماء من الأرض بواسطة بعض الأمارات الدالة على وجوده. فيعرف بعده وقربه بشم التراب، أو برائحة النباتات فيه، أو بحركة حيوان مخصوص وجد فيه، فلا بد لصاحبه من حس كامل، وتخيل قوي شامل. ونفع هذا العلم بيّن، وهو من فروع الفراسة من جهة معرفة وجود الماء والهندسة من جهة الحفر، وإخراجه إلى وجه الأرض.

نبذة تاريخية :

نشأت الحضارات القديمة على ضفاف الأنهار التي وفرت المياه للزراعة، وزرع المصريون حوالي عام 5000 ق.م الأراضي التي تحولت بفعل فيضانات نهر

النيل إلى مناطق خصبة. وحوالي عام 3000 ق.م شيدوا مجموعة من النظم التي احتوت على قنوات مُتقنة تنقل المياه من النيل إلى حقولهم. وشُيِّدت في ذلك الوقت أيضًا مشروعات ريّ ضخمة في كل من الصين والهند وجنوب غربي آسيا، وفي منطقة الشرق الأوسط مثل العراق والأردن.

استخدم الهنود في المكسيك وبيرو حوالي عام 800 ق.م مياه الأنهار لزراعة الذرة الشامية. ووجد الإسبان عند دخولهم هذه البلاد في القرن السادس عشر الميلادي، حضارات عظيمة معتمدة على الزراعة الإروائية، ويُقدر العلماء أن الهنود الأمريكيين قاموا بري آلاف الهكتارات من الأراضي قبل القرن السابع الميلادي، في المناطق التي تعرف اليوم بأريزونا الوسطى.

والماء هو المادة الأكثر شيوعًا على الأرض، ويغطي أكثر من 70% من سطح الأرض. يملأ الماء المحيطات، والأنهار، والبحيرات، ويوجد في باطن الأرض، وفي الهواء الذي نتنفسه، وفي كل مكان. ولا حياة بدون ماء، قال تعالى: ﴿وجعلنا من الماء كل شيء حيٍّ أفلا يؤمنون﴾ الأنبياء:30. كل الكائنات الحية (نبات، حيوان، إنسان) لا بد لها من الماء كي تعيش. وفي الحقيقة فإن كل الكائنات الحية تتكون غالبًا من الماء، كما أن ثلثي جسم الإنسان مكون من الماء، وثلاثة أرباع جسم الدجاجة من الماء. كما أن أربعة أخماس ثمرة الأناناس من الماء. ويعتقد بعض علماء الطبيعة أن الحياة نفسها بدأت في الماء. في ماء البحر المالح.

ومنذ بداية العالم والماء يقوم بتشكيل تضاريس الأرض. فالمطر يهطل على اليابسة ويجرف التربة إلى الأنهار. ومياه المحيطات تلتطم بالشواطئ بقوة

مُكسّرة ومُحطمة للهوات الصخرية على الشاطئ، كما أنها تحمل الصخور المحطمة وتبني رواسب صخرية حيثما تفرغ حملها، والمثال تشق مجاري الوديان..

ويحول الماء دون تغير مناخ الأرض إلى البرودة الشديدة أو الحرارة الشديدة. وتمتص اليابسة حرارة الشمس وتطلقها بسرعة بينما تمتص المحيطات حرارة الشمس وتطلقها ببطء، ولهذا فإن النسيم القادم من البحر يجلب الدفء إلى اليابسة شتاءً والبرودة صيفًا.

كان الماء – ولا يزال – عصب الحياة، فقد ازدهرت الحضارات المعروفة حيثما كانت مصادر الماء وفيرة، كما أنها انهارت عندما قلت مصادر المياه. وتقاتل الناس من أجل حفرة ماء مشوب بالوحد، كما عبد الوثنيون آلهة المطر وصلّوا من أجلها. وعلى العموم فعندما يتوقف هطول الأمطار فإن المحاصيل تذبل وتعمّ المجاعة الأرض. وأحيانًا، تسقط الأمطار بغزارة كبيرة وبصورة فجائية، ونتيجة لهذا فإن مياه الأنهار تطفح وتفيض فوق ضفافه، وتغرق كل ما يعترض مجراها من بشر وأشياء أخرى.

أهمية علم المياه والري :

كل نبات وحيوان وإنسان بحاجة إلى الماء ليبقى حيًا؛ ذلك لأن كل العمليات الحيوية من تناول الطعام إلى التخلص من الفضلات تحتاج إلى الماء. لكن اعتماد الناس على الماء يتعدى حاجتهم للبقاء أحياء، فنحن نحتاج إلى الماء أيضًا في أسلوب ونمط معيشتنا، ونحتاج إليه في منازلنا للنظافة الشخصية

وطبخ الطعام، وغسل الأطباق، ونحتاج إليه في مصانعنا لإنتاج كل شيء تقريبًا من السيارات حتى السحّابات التي نستعملها في ملابسنا. ونحتاجه في عمليات الري لزراعة المحاصيل في المناطق التي لاتحظى بأمطار كافية.

نشأة علم الري:

في اليمن نشأت أول حضارة نهريّة معروفة في تاريخ العالم تعتمد في زراعتها على الري، وفيها انتقل الإنسان من طور القنص والصيد إلى طور الفلاحة والزراعة التي تعتمد على الري، وكانت الخطوة الأولى عندما بدأ الإنسان اليمني باكتشاف سبل إيصال الماء إلى الأرض الزراعية، وفي تجاربه في شق الجداول والخزانات والسدود، نشأ علم الري في التاريخ، ومعه اشتهرت الحضارة النهريّة.

أهم إنجازات المسلمين في علم المياه والري

جاء الحكم الإسلامي فنظم توزيع المياه بشكل قلّ نظيره في أي قانون دولي، ولا تزال كتب الفقه الإسلامي تسهب في تفاصيل تنظيم المياه والسقي، وتحرم بعض فقراته استخدام مياه الجداول والأنهار الخاصة لأي غرض، ولو كان الوضوء للصلاة دون إذن من صاحبها الشرعي.

ولم يعرف العالم أزمة المياه إلا في العصور المتأخرة نتيجة الهدر المائي والتوزيع السيء لهذه الثروة، إضافة إلى الظروف المناخية التي ساعدت على تفاقم هذه الأزمة وانتشارها، واللافت للنظر في بحث المياه - كما سنرى - أنها شكلت أولى الحضارات في العالم؛ لتنتهي مناطق هذه الحضارات بنضوب هذه الثروة وحدوث ما يسمى بأزمة المياه.

والمسلمون أول من أدخلوا شبكات المياه في مواسير الرصاص أو الزنك إلى البيوت والحمامات والمساجد.. وقد أورد كتاب "صناعات العرب " رسماً وخرائط لشبكات المياه في بعض العواصم الإسلامية.

توزيع الموارد المائية في الوطن العربي:

يقع حوالي 80% من المساحة الكلية للوطن العربي في المناطق المناخية الجافة وشبه الجافة التي تتسم بسقوط متذبذب للأمطار على مدار السنة، وبالتغير في كمياته من سنة إلى أخرى. وإذا كانت مساحة الوطن العربي تمثل 10.2% من مساحة العالم فإن موارده المائية لا تمثل سوى 0.5% من الموارد المائية المتجددة العالمية، كما لا يتجاوز معدل حصة الفرد العربي حالياً من الموارد المائية المتاحة، حدود 1000 متر مكعب سنوي، مقابل 7000 متر مكعب للفرد كمتوسط عالمي.

وتشير بعض المصادر إلى أن جملة الموارد المائية المتاحة (المتجددة) في الوطن العربي تقدر بما يقارب 265 مليار متر مكعب في السنة، تتوزع بين 230 مليارات كمياه سطحية و35 مليارات كمياه جوفية، بالإضافة إلى بعض المياه الناجمة عن إعادة استخدام المياه العادمة من الصناعة والصرف الصحي وتلك المتأتية من تحلية المياه المالحة.

ورغم ضعف مستوى حصة الفرد العربي من الماء في الوقت الحاضر فإن التنبؤات المستقبلية تشير إلى أن هذا المستوى سوف ينخفض إلى حدود 460م³ في السنة بحلول عام 2025، وأن أكثر من نصف الوطن العربي سيصبح تحت

خط الفقر المائي (التقرير الاقتصادي العربي الموحد، 2001، ص 38). تضاف إلى ذلك احتمالات تناقص كميات المياه التي ترد من الخارج بسبب بعض الخلافات مع دول الجوار المشتركة معها في مصادر هذه المياه، والتي تمثل 50% من المياه المتاحة عربيا والواردة أساسا من نهر النيل ونهري دجلة والفرات ونهر السنغال.

وتتوزع المياه السطحية المتاحة في الوطن العربي كما يلي (حسب التقرير الموحد، 2001).

38.5% من مجموع المياه السطحية المتاحة عربيا في الإقليم الأوسط (مصر والسودان والصومال وجيبوتي).

37% منها في إقليم المشرق العربي (الأردن وسوريا ولبنان والعراق وفلسطين).

19.7% في دول المغرب العربي (ليبيا وتونس والجزائر والمغرب وموريتانيا).

4.8% في شبه الجزيرة العربية (اليمن ودول مجلس التعاون الخليجي).

استخدامات الموارد المائية:

تقدر استخدامات المياه في الدول العربية بما يناهز 190.7 مليار متر مكعب سنويا وهو ما يمثل نسبة 72% من مجموع الموارد المائية المتاحة. وتتوزع هذه الاستخدامات بين قطاع الزراعة بنسبة 87% والاستخدام المنزلي بنسبة 8% والاستخدامات الصناعية بنسبة 5%. وتعكس أهمية النسبة التي يستحوذ عليها

قطاع الزراعة من جملة استخدامات المياه، ضرورة استعمال التقنيات المتطورة من أجل عقلنة وترشيد استخدام المياه في هذا القطاع.

وتعادل جملة الاستخدامات المائية في الزراعة في الوطن العربي 166.5 مليار متر مكعب في السنة، منها حوالي 157 مليار تستخدم سنوياً في الري السطحي. وتقدر كفاءة هذا النظام بـ 38% في السنة، مما يعكس أن نسبة مهمة من الموارد المائية تضيع هدراً وتسرباً وتبخراً وتلوثاً. ويُعزى الهذر في الموارد المائية إلى عدة عوامل من بينها: تدني مستوى كفاءة إدارة الموارد المائية، وتدني مستوى أو حتى فقدان الوعي المائي وما يرتبط به من إسراف وتبذير وتلويث للمياه، وتخلف مستوى التجهيزات والبنية التحتية في مجال استخدام المياه في أغلب الدول العربية بصورة عامة، واستخداماتها في الري بصورة خاصة.

وهنا نشير إلى ضرورة ترشيد استخدام الموارد المائية المتاحة عربياً والحاجة الملحة إلى العمل على توفير المزيد من هذه الموارد، وهو ما يستوجب تكافل الجهود العربية وتكاملها من أجل الحدّ من سوء استغلال المياه المتاحة اللازمة لإنتاج زراعي يقابل الطلب على الغذاء في وطننا العربي.

○ ما كميات الماء على الأرض؟

هناك نحو 1،4 ألف مليون كم² من الماء على الأرض. ويحوي الكيلو متر المكعب من الماء أكثر من 9،0 مليون مليون لتر من الماء.

○ ما مقدار الماء العذب على الأرض؟

3% فقط من الماء على الأرض ماء عذب، وحوالي ثلاثة أرباع هذا الماء العذب متجمد في المثالج والأغطية الثلجية. وتقدر كمية الماء المتجمد هذا بما يعادل كميات الماء التي تجري في كافة أنهار الأرض لمدة ألف عام.

○ كم تحوي الكائنات الحية من الماء؟

تتألف الكائنات الحية غالبًا من الماء؛ فمثلاً يشكل الماء حوالي 65% من جسم الإنسان، 70% من جسم الفيل، 80% من درنة البطاطس، 95% من ثمرة الطماطم.

○ ما كمية الماء التي يستهلكها الفرد الواحد طوال حياته؟

متوسط ما يستهلكه الفرد الواحد من الماء طوال حياته نحو 60600 لتر. ما الصور المختلفة لوجود الماء؟

يُعتبر الماء المادة الوحيدة على الأرض التي يمكن وجودها بشكل طبيعي في ثلاث حالات: يوجد في الحالة السائلة، والصلبة (جليد) والغازية (بخار ماء)

○ ما مقدار كمية الماء التي يستعملها الفرد الواحد يوميًا؟

في الأقطار المتقدمة يستعمل الفرد نحو 380 لترًا في المنزل يوميًا. ما أكثر استعمالات الماء؟

يُستعمل الماء بكثرة في الصناعة، فهي تحتاج إلى نحو 300 لتر من الماء لإنتاج ورق نسخة واحدة من صحيفة يومية، وحوالي 170 لترًا من الماء لإنتاج كيلوجرام واحد من الفولاذ.

○ هل يأتي وقت ينفد فيه الماء تمامًا؟

يستعمل الماء ويعاد استعماله مرات ومرات ولا يمكن أن ينفد بالاستعمال، ويحتوي كل كأس ماء نشربه على جزيئات من الماء استعملت سابقًا عددًا لا يحصى من المرات.

أزمة المياه المعاصرة

توقع تقرير للأمم المتحدة أن تصل أزمة المياه العالمية إلى مستويات لم يسبق لها مثل خلال السنوات المقبلة.

وحذر التقرير الذي أعدته منظمة الأمم المتحدة للتربية والثقافة والعلوم (يونسكو) عشية منتدى الماء الثالث الذي عقد في كيوتو باليابان من التدهور المستمر في مصادر المياه بسبب نمو السكان وتلوث وتغيير مناخي متوقع.

و المدير العام لمنظمة الأمم المتحدة للتربية والثقافة والعلوم (يونسكو) كويتشيرو ماتسيرا: إنه "ما من منطقة ستفلت من تأثير هذه الأزمة التي تمس كل مظاهر الحياة من صحة الأطفال إلى قدرة الأمم على تأمين الغذاء لمواطنيها."

وأضاف أن "إمدادات المياه تنخفض فيما يتنامى الطلب بشكل مثير في نسبة غير قابلة للدعم على مدى السنوات الـ 20 المقبلة" محذرا من أن "المتوسط العالمي لمعدل نصيب الفرد الواحد من المياه سينخفض بمقدار الثلث".

وأنهى التقرير باللائمة إلى حد كبير على غياب الالتزام السياسي عالميا للتعامل مع هذه الأزمة بجدية، وللتوصل إلى حل ناجع يقلص النقص العالمي لإمدادات المياه "على الرغم من توافر أدلة واسعة على هذه الأزمة إلا أن الالتزام السياسي يتجه عكس ذلك".

وذكر التقرير أن "الموقف والمشاكل الأخلاقية تكمن في قلب الأزمة" إضافة إلى "القصور الذاتي في مستوى القيادة وسكان العالم لعدم إدراكهم التام لمقياس المشاكل مما يعني أننا نخفق في اتخاذ الإجراء التصحيحي المناسب المطلوب". وقال التقرير: إن التحدي على مستوى عالمي "يكمن في رفع الإرادة السياسية لتطبيق التزامات ذات علاقة بالمياه وما عدا ذلك ستظل المياه منطقة للخطابات السياسية والوعود العالية بدلا من أعمال مطلوبة جدا".

وحذر التقرير من أن هناك أكثر من 180 بلدا وأرضا تعيش في حالة من الأزمة فيما يتعلق بشُحِّ إمدادات المياه، أو تجهيز الماء النظيف الصالح للشرب. وصنف التقرير دولة الكويت على أنها فقيرة من ناحية توافر المياه إذ أن نصيب الفرد السنوي من المياه هو 10 أمتار مكعبة فقط يليها قطاع غزة ب (52 مترا مكعبا)، ودولة الامارات العربية المتحدة (58 مترا مكعبا)، وجزر الباهاما (66 مترا مكعبا)، ودولة قطر (94 مترا مكعبا)، وجزر المالديف (102 متر مربع)،

وليبيا (113 مترا مربعا)، والمملكة العربية السعودية (118 مترا مربعا)، ومالطا (129 مترا مربعا)، وسنغافورة (149 مترا مربعا).

ونذكر أن أغنى عشرة بلدان بالمياه هي غينيا الفرنسية وأيسلندا وجوانا وسورينام والكونغو وبابوا غينيا الجديدة والجابون وجزر سليمان وكندا ونيوزيلندا. وحذر التقرير من أنه "في منتصف هذا القرن وفي أسوأ الاحوال سيواجه سبعة مليارات نسمة في 60 بلدا مشكلة ندرة الماء"

وأضاف أن تغيير المناخ يأخذ بالحسبان ما يقدر بـ 20 في المائة من الزيادة في ندرة المياه العالمية بينما ستكون عملية إغراق النفايات عنصرا أساسيا يؤدي إلى تلوث الماء عالميا متوقعا أن تسوء الأزمة على الرغم من النقاش المستمر. وبيّن أن حوالي طنين من النفايات يتم التخلص منها يوميا عبر إلقائها في الأنهار والبحيرات والجداول مشيرا إلى أن لترا واحدا ملوثا من المياه القدرة يلوث حوالي ثمانية لترات من المياه العذبة.

ووفقا للتقرير فإن هناك نحو 12 ألف كيلومتر مكعب من المياه الملوثة عالميا وهو أكثر من إجمالي كميات المياه التي تحتويها عشرة من أكبر أنهار العالم مشيرا إلى أن أنهار قارة آسيا هي الأكثر تلوثا.

وحذر من أنه إذا استمر الأمر من دون تغيير فإن العالم سيفقد بحدود 18 ألف كيلومتر مكعب من المياه العذبة بحلول عام 2050م.

وصنف التقرير نوعية المياه في بلدان كبلجيكا والمغرب والأردن والهند والسودان والنيجر وبوركينا فاسو وبوروندي وجمهورية أفريقيا الوسطى ورواندا على أنها الأدنى عالمياً.

فيما اعتبر أن أفضل نوعية من المياه في العالم هي في بلدان كفنلندا وكندا ونيوزيلندا والمملكة المتحدة واليابان والنرويج وروسيا والسويد وفرنسا.

وقال التقرير: إن "الفقراء يظلون هم الأكثر تضرراً إذ أن 50 في المائة من سكان البلدان النامية يستخدمون مصادر المياه الملوثة".

وذكر أن ستة آلاف شخص معظمهم من الأطفال دون سن الخامسة يموتون كل يوم بسبب أمراض الإسهال وهو الأمر الذي يصور فداحة المشاكل التي تواجه العالم في احترام مصادر المياه.

وحذر التقرير مجدداً من أن "أكثر من 2ر2 مليون شخص يموتون سنوياً نتيجة لأمراض متعلقة بتلوث المياه الصالحة للشرب، والتصريف السيئ لمياه المجاري".

وخلص تقرير (يونيسكو) إلى أنه فيما يتعلق بالنمو السكاني فإن "استهلاك المياه تضاعف تقريباً في السنوات الخمسين الأخيرة مما يشير إلى أن الطلب على الماء سيكون أكثر من الكميات المعروضة".

هذا وكانت الأمم المتحدة قد أقرت رسمياً في 12 ديسمبر اعتماد سنة 2003 عاماً دولياً للمياه الصالحة للشرب. ويأتي إقرار هذه السنة العالمية للمياه في وقت يحصل فيه توافق دولي على ضرورة التحرك لتجنب أن تتحول المياه إلى

مصدر لصراعات المستقبل، إذ تشير الإحصائيات إلى أن 1,2 مليار نسمة في العالم ليس لهم أي وصول إلى شبكات المياه الصالحة للشرب، والمقصود بالوصول إلى شبكات المياه، إمكانية الحصول يوميا على حوالي 20 لترا للشخص الواحد، وبالتنقل لمسافة لا تتجاوز كيلومتر واحد عن مكان الإقامة.

يضاف إلى ذلك أن أكثر من 2,4 مليار نسمة في العالم يعانون من عدم توفرهم على شبكات صرف المياه، مما يضاعف من أخطار الإصابة بأمراض كثيرة، وكون أن أكثر من 90% من مياه الصرف وأكثر من 70% من مياه المعامل تصرف بدون معالجة، يؤدي إلى ارتفاع تلوث البيئة ومصادر مياه الشرب.

وإذا كان أكثر من 70% من المياه المعدنية فوق الكرة الأرضية تسخر للزراعة، فإن الكمية المتبقية والمستعملة للشرب توزع بشكل غير عادل، إذ أن المواطن في البلدان المصنعة يستهلك يوميا ما بين 400 و 500 لتر، بينما يستهلك الشخص في البلدان النامية معدلا لا يتجاوز 20 لتراً.

ومن الفوارق الصارخة في هذا الميدان، كون المواطن في البلدان المصنعة يستهلك عند إطلاق صهرج دورة المياه مرة واحدة، ما يستهلكه يوميا شخص في البلدان النامية في شربه وغسيله وطهي طعامه وتنظيف ثيابه.

وقد تعهد قادة الدول في قمة الألفية عام 2000 في نيويورك بالعمل على تخفيض نسبة الأشخاص غير القادرين على الوصول إلى مصادر المياه

الصالحة للشرب إلى النصف بحلول عام 2015م، وكذلك بالنسبة للأشخاص غير المستفيدين من شبكات الصرف الصحي.

ولإنجاز ذلك، ترى الأوساط الأممية أن على المجموعة الدولية أن تضيف حوالي 14 مليار دولار لزهاء الـ 30 مليار دولار التي تنفق سنويا لتأمين المياه الصالحة للشرب ولشبكات الصرف الصحي في العالم.

ويعيش حاليا أكثر من 40% من سكان العالم في مناطق تعرف قلة في الموارد المائية. وقد تصل هذه النسبة في عام 2025م إلى ثلثي سكان العالم أي حوالي 5,5 مليار نسمة. ومن المناطق المهددة بالدرجة الأولى، بلدان شمال إفريقيا وغرب وجنوب القارة الآسيوية.

و تحتل الدول العربية الصدارة في المناطق المهددة بنقص في المياه، سواء في شمال إفريقيا أو آسيا، فإنها تحتل الصدارة أيضا في قائمة الدول التي قد تعرف توترات بسبب تقاسم مصادر مائية مع بلدان أخرى.

ويكفي الإشارة إلى التوتر القائم بين لبنان وإسرائيل بخصوص نهر الليطاني، وكذلك العلاقات القائمة بين إسرائيل والفلسطينيين أو بين إسرائيل والأردن. كما أن ملف تقاسم المياه بين سوريا وتركيا والعراق لازال أحد أسباب التوتر في المنطقة.

وقد تم إحصاء أكثر من 261 مجرى مائي عابر لحدود أكثر من دولتين. وتشترك البحيرات والبحار في حدود أكثر من 145 دولة، كما أن هناك أنهارا تشترك فيها العديد من الدول مثل نهر النيل أو نهر الدانوب.

وعلى الرغم من أن الاشتراك في تقاسم المصادر المائية يُعدُّ من أسباب التوتر الدولي الرئيسية، فإن عدد الصراعات التي نشبت فيها أعمال عنف بسبب المياه خلال الخمسين عاما الماضية لا تتعدى الخمسة والثلاثين. وللعثور على حرب حقيقية بسبب المياه في تاريخ الإنسانية يجب العودة إلى ما قبل 4500 عام، وكانت حول مياه دجلة والفرات.

ولمواجهة هذه التخوفات الحقيقية والمبالغ فيها عند الحديث عن المياه في العالم، سيتم التطرق خلال العام العالمي للمياه إلى كيفية الحفاظ على الموارد المائية، وتسخير التكنولوجيا للحد من تلوثها وتبخرها وحسن استغلالها إما للري أو للشرب، وهو ما تهدف الأمم المتحدة إلى إشراك الحكومات وممثلي المجتمع المدني وأصحاب القطاع الخاص في إثرائه.

وبذلك تحتفظ القوي الطبيعية دائما بالتوازن في عملها وتأثيرها على سطح الكرة الأرضية وكذلك في باطنها.

يختلف عمق الغلاف المائي السطحي من مكان لآخر اختلافا واضحا، وقد قدر أعظم عمق - عرف حتي الآن - لهذا الغلاف بستة أميال تقريبا بالقرب من إحدى جزر الفيليبين. وتتكون أعماق الأماكن لهذا الغلاف في شكل أحواض ضيقة طويلة تسمى أعماق Deeps وغالبا ما توجد بالقرب من القارات أو حول أقواس الجزر وخاصة في المحيطين الهادي والهندي.

ثالثا : الغلاف الصخري: Lithosphere

يشمل هذا الغلاف الجزء الصخري الصلب (وكذلك المنطقة المركزية الرخوة) من الأرض، ويغمر الغلاف المائي ما يقرب من ثلاثة أرباع هذه اليابسة فلا يظهر منها إلا ما يكون القارات فقط.

وقد أدت الدراسات الجيولوجية والطبيعية الي أن اليابسة تتكون من طبقات متركرة Concentric shells تحيط بنواه مركزية Central core أن هذه الطبقات تتكون من مواد مختلفة ويحتمل أن تكون في حالات طبيعية مختلفة.

ويمكن تقسيم الغلاف الصخري إلى :

(1) القشرة الأرضية: Earth crust.

وتتكون من طبقتين متراكزتين تتميز الطبقة الخارجية منها بصخور خفيفة نسبيا أي ذات وزن نوعي صغير - مثل صخور الجرانيت.

كما أنها تشمل الصخور الرسوبية. وأهم مكونات صخور هذه الطبقة هي السيليكا (أكسيد السيليكون) والأومينا (أكسيد الألومنيوم) ولذلك يطلق عليها أسم سيال Sial نسبة إلى الأحرف الأولى من مكوناتها الأساسية. ويتراوح سمك هذه الطبقة بين 10-15 كيلو مترا، ويبلغ متوسط الوزن النوعي لصخورها 2,7، غالبا ما تكون فاتحة اللون لازدياد نسبة السيليكا والأومينا بها (أكثر من 60%).

أما الطبقة الداخلية من القشرة الأرضية فتتكون عادة من صخور داكنة اللون، ثقيلة نسبيا إذ يبلغ وزنها النوعي ما بين 2,9، 3,4 وذلك لنقص نسبة السيليكا

حيث تقل بكثير عن سابقتها وتتراوح ما بين 40،50 ٪ من مجموع مكونات هذه الطبقة، وتلي السيليكات في الأهمية في هذه الطبقة مركبات الماغنسيوم (الماغنيزيا) ولذلك تعرف بطبقة سيما Sima، ويتراوح سمك الطبقة الداخلية للقشرة الأرضية ما بين 20 إلى 25 كيلو مترا.

وقد استنتج أن الأجزاء السطحية من القارات تتكون من طبقة السيليكات أي الصخور الجرانيتية وما يعادلها، وكذلك الصخور الرسوبية الطبقة، بينما تتكون جذور هذه القارات من السيليكات الثقيلة الوزن. وتكون صخور السيليكات كذلك قاع المحيطات كما هو الحال في المحيط الهادي حيث لا توجد طبقة السيليكات ولكن توجد هذه الأخيرة في طبقة رقيقة في قيعان المحيطات الأخرى.

(2) الستار: Mantle.

يتكون هذا النطاق الذي يلي القشرة الأرضية من صخور أكثر قتامة في اللون وأكبر كثافة وقاعدية من صخور السيليكات وذلك لاحتوائها على نسبة أكبر من المركبات القاعدية (المركبات الحديدية والماغنيسية).

ويجد هذا النطاق على عمق يتراوح ما بين 40،30 كيلو مترا من سطح اليابسة ويقدر سمكها بما يقرب من ثلاثة آلاف كيلو مترا (2900 كيلو متر).

ويمكن التعرف على طبقتين مختلفتين في نطاق الستار، تفوتان في التركيب الكيميائي للصخور المكونة لكل منها، حيث تزداد القاعدية وبالتالي قتامة اللون والكثافة من طبقة الستار الخارجية (طبقة البريديتيت Peridotite)، (من أنواع الصخور فوق القاعدية Ultrabasic وتزيد كثافتها عن صخور السيليكات) وتعرف

طبقة الستار الداخلية التي تتكون غالبا من خليط من المعادن القاعدية وفلز الحديد باسم بالاسيت Pallasite.

النواة: core.

وقد يسمي أحيانا وبصفة عامة جوف الأرض Centrosphere وقد حار العلماء في استنتاج حالة هذا الجزء المركزي للأرض و خصائصه بين كونه نواة صلبة أو لزجة نصف شفافة أو سائلة ذائبة أو في حالة غازية، ولكن أجمعت الآراء على ثقله (حيث يصل وزنه النوعي إلى 10) وشدة حرارته وقوة الضغط عليه.

وبالاستعانة بدراسة موجات الزلازل والمغناطيسية الأرضية ودراسة الشهب والنيازك أمكن استنتاج أن هذا الجزء من الكرة الأرضية يتكون أساسا من الحديد والنيكل وعلي ذلك فقد يسمي (نيقة).

وبحساب بسيط يمكن الاستدلال على الوزن النوعي لهذا الجزء من الأرض، فقد أمكن للفيزيقيين حساب الوزن النوعي للأرض مقدرا: بأن الأرض تزن ستة آلاف مليون طن تقريبا (5.98×10^{17} جرام) وحيث أن حجم الأرض 1.083 10^{27} سم فان ثقلها النوعي = 5.52 في المتوسط، ومن المعروف أن كثافة القشرة الأرضية تتراوح بين 2.7 – 2.9 للسيال، 2.9 – 3.4 للسيما.

كما أن كثافة الغلاف المائي تزيد بقليل عن واحد، وبعملية حسابية يتضح أن كثافة جوف الأرض كبيرة تتراوح بين 8، 11 ومتوسط هذه الكثافة أكبر بقليل من كثافة الحديد وأقل من كثافة النيكل.

تمهيد:

من الحقائق التي لا جدال فيها أن سطح الأرض يمر دائما بعملية تغيير مستمرة. والصور أو الدلائل على هذا عديدة فمن تصور لما تحمله قطرات مياه الأمطار من أعلي إلي أسفل إلي تلك الكميات المائلة من فئات الصخور التي تقع من أعالي الجبال. بالإضافة إلي ذلك السيل الذي لا ينضب من الموارد التي تحملها الرياح في المناطق الصحراوية إلي جانب عدد لا يحصى من الأمثلة منها ما تشاهدها وتحس بها مما في حياتنا القصيرة الجل نسبة غلي هذه الأزمنة الجيولوجية أو مما يثبت لدينا من واقع الدراسة الجيولوجيا للتغيرات التي حدثت لتضاريس القشرة الأرضية وأهمها ما يعرف بنظرية ترحزح القارات.

ومن المنطق أن نبدأ حديثنا عن عملية التغير في سطح القشرة الأرضية هذه بمناقشة ما نراه الآن وما نشاهده على الطبيعة من تحركات للكثبان الرملية والتي تتراكم بفعل الرياح وتكون المصاطب النهرية أو الدلتا نتيجة لما تحمله مياه الأنهار من مواد عالقة كالغرين والطيني والزلازل بما تحدثه من هزات أرضية تؤدي إلي التكسير والتخريب والبراكين بما تحمله من باطن الأرض لتخرجه خلال فوهاتها ... الخ.

أن ما نراه الآن هو صورة من صور عديدة بعضها طويل الأجل يمتد آلاف السنين والبعض الآخر بضع دقائق ليهو ضوء يلقي على ما حدث في الماضي

وأثر في هدم أو بناء سطح القشرة الأرضية. ولهذا فإنه يمكن تقسيم العوامل المختلفة التي تؤثر في تغيير سطح القشرة الرضية إلى نوعين:

1- عوامل خارجية: External Processes

ويقصد بها تأثير الغلاف الجوي والمائي على القشرة الأرضية مثل الرياح والأمطار والمياه الجارية والبحار والثلجات الخ.

2- عوامل داخلية: Internal Processes

تشمل عملية تغيير سطح القشرة الأرضية جزأين رئيسيين هما الهدم والبناء.

(1) الهدم : Destruction

ويشمل عمليات التفتيت و التكسير و التحلل بحيث يؤدي إلى تحول المواد الصلبة المتماسكة إلى مواد مفككة و مهشمة من السهل على عوامل النقل المعروفة نقلها من مكانها إلى مكان آخر و تسمى هذه العمليات جميعها بعملية التعرية لسطح الأرض.

(2) البناء : Construction

ويشمل عمليات تجميع وترسيب المواد الناتجة من عمليات الهدم والمنقولة إلى أماكن الترسيب.

وإنه لمن المدهش أن نرى أن عمليات الهدم تكون في أوج نشاطها في الأماكن المرتفعة عن سطح الأرض وعلي العكس، فإن عملية البناء تسعى إلى ملأ

الحفريات والمنخفضات والوصول بها إلى سطح الأرض. ومن ثم، فإن عمليات الهدم والبناء تتضافر في تسوية سطح الأرض طبيعياً.

المناخ والتعرية:

تحدث التعرية سواء مباشرة أو غير مباشرة أثرها بواسطة تأثير العوامل الجوية المختلفة. كما أن نوع وقوة تأثير هذه العملية ترتبط إلى حد كبير بالأحوال المناخية السائدة بالمنطقة.

وعوامل التعرية عديدة ومنها :

1- الجاذبية Gravity.

2- المياه Water.

3- الجليد Ice.

4- الرياح Wind.

وتعتبر الجاذبية هي العامل الوحيد الذي لا يعتمد على الأحوال المناخية بعكس الثلاث عوامل الباقية.

وعلى هذا الأساس يمكن تقسيم الاختلافات في الأحوال المناخية على سطح القشرة الأرضية إلى أربعة أقسام رئيسية وهي :

أ- النطاق الاستوائي : Equatorial Zone

ويتميز هذا النطاق بخصائص عديدة منها : الحرارة الشديدة، أمطار غزيرة، نباتات وغابات كثيفة.

ب- النطاق الصحراوي : Arid Zone

ويقع النطاق الصحراوي على جانبي النطاق الاستوائي حيث يتميز بخصائص عديدة منها : الحرارة العالية مع جفاف الجو، أمطار نادرة، نباتات وغابات قليلة أو غير موجودة.

ج- النطاق المعتدل : Temperate Zone

ويتميز هذا النطاق بخصائص عديدة منها : حرارة معتدلة، أمطار متوسطة، نباتات وغابات موجودة.

د- النطاق القطبي : Arctic Zone

يقع النطاق القطبي في أقصى الشمال وأقصى الجنوب من النطاق الاستوائي حيث يتميز بالبرودة الشديدة، وقلة وجود المياه الجارية، والجو الجاف، والنباتات نادرة وكذلك الحيوانات قليلة.

وفي كل من الانطقة سالفة الذكر، فان عملية التعرية تتسم بخصائص معينة حيث تختلف هذه الأنطقة في قوة أو قدرة تأثير العوامل المختلفة بعضها نسبة لبعض.

كما يوجد نوع آخر من التعرية يعرف بالتعرية البحرية Marine Denudation والمقصود بها عمليات الهدم التي تحدث في قيعان البحار والمحيطات وهي لا تعتمد كثيرا على الأحوال المناخية إلا في المناطق القطبية والتي يزيد من تعقيد وتشابك عملياتها وجود البحار الجليدية.

طبيعة عمليات التعرية: Nature of Denudation

إن عملية التعرية ذات ثلاثة أوجه Three Fold فالوجه الأول يشمل كل ما يؤدي إلى تحول الصخور الصلبة المتماسكة إلى صخور أقل صلابة أو فتات صخور هشة إما بالتكسير أو بالتحليل حتي يسهل نقلها.

أما الوجه الثاني فهو عملية نقل المواد التي تستطيع عوامل النقل المعروفة (الرياح - المياه) نقلها من أماكن التكسير فهو عملية نقل المواد التي تستطيع عوامل النقل المعروفة (الرياح - المياه) نقلها من أماكن التكسير إلى مصاطب الترسيب.

بينما الوجه الثالث فهو مشترك مع الوجه الثاني في أنه يمثل عملية التآكل التي تصاحب عملية نقل المواد المفتتة أو المكسرة إلى أن تحدث عملية الترسيب.

وهذه الوجوه الثلاثة سألقة الذكر، والمعروفة جيولوجيا باسم :

- عملية التجوية.
- عملية النقل.
- عملية البري أو التآكل.

عملية التجوية: Weathering Processes

وهنا يمكن إدراج كل العمليات التي تؤدي بصورة أو بأخرى إلى تكسير وتفتت المواد الصلبة سواء النارية أو الرسوبية أو المتحولة. ثم بعد ذلك يتم أعداد هذه المواد المفتتة لعملية النقل (ثان عمليات التعرية) بواسطة عوامل النقل المختلفة. وعملية التجوية لها طبيعة كيميائية وإن كانت تبدو في صورها العديدة ميكانيكية النشأة.

التجوية الكيميائية: Chemical Weathering

تعتبر المعادن المكونة للصخور عبارة عن مركبات كيميائية غير عضوية حيث يعتمد تركيبها وصفاتها الطبيعية على ظروف تكوينها ومن ثم لا تتغير المعادن مادامت الظروف التي تكونت فيها لم تتغير، وبالتالي يطلق على هذه المعادن بأنها معادن ثابتة.

ولكن افتراض عدم تغير الظروف في الطبيعة غير قائم على الإطلاق، وعلي هذا الأساس فإن بعض المعادن تتغير لتلائم الظروف الجديدة.

وأن عملية تغير المعادن هذه يصاحبها عادة تكسير أو تحلل للمعادن، ومن ثم حدوث تغير في مكونات الصخر سواء من بين معادنه الأصلية أو ما استحدثته من مكونات جديدة أضيفت إليه من الخارج بمعنى أنه يمكن أن يحدث عملية تغير كيميائي تؤدي إلى تكوين صخور جديدة.

الفصل الثاني

مقدمة عامة في علم الأحافير

الأحافير

تتضمن الصخور الرسوبية بقايا عضوية، نباتية و حيوانية، كالأصداف و الفحم، و هذه البقايا دفنت في الرسوبيات أثناء عملية الترسيب، وحفظت فيها طيلة العديد من العصور الجيولوجية الماضية. عندما يموت الكائن الحي تتعرض أجزأؤه اللحمية الطرية للتحلل و التلاشي السريع فتحمى آثارها إلا ما ندر، أما الأصداف، أو العظام أو الخلايا الخشبية فتؤلف الأجزاء الصلبة من الكائن التي تقاوم التلف.

الأحافير هي آثار أو بقايا أو شواهد نباتا كان أو حيوانا وكان يعيش منذ آلاف أو ملايين السنين، حفظت في الصخور عبر العصور الجيولوجية القديمة وتدل على الكائن الحي الذي تمثله)

وعلى ذلك فإن أي شيء يتعلق بالكائنات العضوية في الأزمنة الجيولوجية التي تسبق الزحف الجليدي الأخير الذي انتهى منذ حوالي (15000) سنة (راجع السجل الجيولوجي) فالبقايا العضوية المحفوظة بعد هذا الزحف الجليدي ليست من الأحافير، و لم تدخل سجل الأحافير

ويطلق اسم (التجمع الحفري) على مجموعة من الأحافير المتنوعة في طبقات معينة و تشتمل على كميات مختلفة من الفونا " fauna " (و تعني جماعة الحيوان في مكان ما) و الفلورا " flora " (جماعة من النبات في مكان ما و في زمان ما) و يسمى التجمع الحفري باسم الاحفورة الغالبة فيه و أو باسم أحفورة مميزة فيه أما لفظ موطن أحيائي (بيوتيت حفري) (fossil Biotope) فيطلق

على مساحة من الصخر الرسوبي على مستوى التطبيق يحتلها مجتمع رفات يمثل العشيرة الأحيائية التي كانت تحتل المساحة نفسها في أثناء الحياة تمثيلاً تقريبياً. وبعض هذه الأحافير قد تكون أوراق نبات أو أصداف أو هياكل، قد حُفظت بعد موت النبات أو الحيوان. وبعضها الآخر آثار ومسارات أقدام نتجت عن الحيوانات المتنقلة.

توجد معظم الأحافير في الصخور الرسوبية. تشكلت هذه الأحافير من بقايا نباتات أو حيوانات طمرت في الرسوبيات مثل الطين أو الرمل المتجمع في قاع الأنهار والبحيرات والمستنقعات والبحار. وبعد مرور آلاف السنين، فإن ثقل الطبقات العليا الضاغطة على الطبقات السفلى يحولها إلى صخور. وهناك عدد قليل من الأحافير التي تمثل نباتات أو حيوانات كاملة لأنها حُفظت في جليد أو قطران أو إفرازات الأشجار المتجمدة. يعتقد بعض العلماء أن أقدم الأحافير هي لبكتيريا مجهرية عاشت قبل نحو 3,5 بليون سنة. وُجدت مثل هذه الأحافير في جنوب إفريقيا في نوع من الصخور يسمى الشُّرت وهو نوع من المرو. كما عُثر على أحافير مماثلة لبكتيريا قديمة في أستراليا. وأقدم الأحافير الحيوانية هي بقايا اللافقاريات، وهي حيوانات ليس لها عمود فقري. ويُقدر عمر صخور هذه الأحافير بحوالي 700 مليون سنة. وأقدم أحافير الفقاريات (وهي الحيوانات ذات العمود الفقري) هي أحافير للأسماك يُقدر عمر صخورها بحوالي 500 مليون سنة. والأحافير واسعة الانتشار والعثور عليها أسهل مما يعتقد الكثيرون. وتتوفر في معظم بقاع العالم. وهذا يعود لكون الصخور الرسوبية واسعة الانتشار تغطي حوالي 75 % من سطح اليابسة. ومع هذا يعتقد العلماء أن جزءاً يسيراً من

الحيوانات والنباتات التي عاشت على الأرض قد تم حفظها في شكل أحافير. كما يُظن أن أنواعًا عديدة قد عاشت واختفت دون أن تترك أي أثر في السجل الأحفوري على الإطلاق. ولكن المزيد من الأنواع الأحفورية يتم اكتشافها دائمًا.

عندما تموت الكائنات التي تحيا في البحار على سبيل المثال فان بقاياها تهبط إلى القاع حيث تتحلل أجزائها الحية ن أما هياكلها الصلبة كالأصداف والعظام والأسنان.. الخ فأنها تدفن بين رسوبيات التي تتكون على قاع البحر والتي تتضاغط بعد ذلك متحولة إلى طبقات صخرية ترتفع من قاع البحر بالحركات الأرضية أو بانحسار الماء عنها نتيجة لهبوط منسوب المياه في البحار والمحيطات بصفة عامة، فتظهر هذ الصخور على سطح القشرة الارضية وتعرض لفعل عوامل التعرية المختلفة التي قد تظهر بقايا الحياة فيها.

كيف تتكون الأحافير

تموت معظم النباتات والحيوانات وتتغفن متحللة دون أن تترك أي أثر في السجل الأحفوري. وتقوم البكتيريا وأحياء أخرى بتحليل الأنسجة الطرية كالأوراق أو اللحوم ونتيجة لذلك فإن هذه الأنسجة نادرًا ما تترك أي سجلات أحفورية. وحتى أكثر الأجزاء صلابة مثل العظام والأسنان والأصداف والخشب تبلى في النهاية بوساطة المياه المتحركة أو تذيبها مواد كيميائية. إلا أنه عند طمر بقايا النبات والحيوان في الترسبات فإنها قد تصبح متأخرة. وتحفظ هذه البقايا في الغالب دون تغيير يُذكر. ولكن معظمها يعتريه تغيير بعد الدفن، ويختفي العديد منها تمامًا، إلا أنه يترك سجلاً أحفوريًا في الراسب.

العوامل التي ساعدت على تأحفر بقايا الكائنات الحية :

1. وجود هيكل صلب للكائن الحي (عظام الحيوانات - الهيكل الكيتيني - مادة السيليلوز في النبات)

2. الدفن السريع حتى يقلل من فرصة تعرض البقايا للبكتيريا وعوامل التحلل الأخرى وأفضل الأماكن لحفظ الكائنات الحية البرية دالات الأنهار وضفافها وبرك القار القديمة وأماكن الانهيارات الجليدية وهي لا تتوفر إلا بشكل محدود بينما تتوفر ظروف الدفن السريع في البيئات البحرية لذلك فإن غالبية احافير السجل الجيولوجي المحفوظة احافير بحرية .

3. حفظ الكائنات في وسط مناسب وهو وسط لا يسمح للماء والهواء بالتسرب من خلاله حتى لا يعملان على تحلل أجسام الكائنات عند موتها ومحو أثرها.

4. حدوث تحولات كيميائية و طبيعية يتعرض لها تركيب أجزاء الكائن تزيد من قدرته على مقاومة العوامل الخارجية ولذلك فمن النادر وجود احافير بقيت محافظة على تركيبها الأصلي دون مساس به.

أما العوامل التي لا تساعد على التأحفر :

1. تعرض بقايا الكائنات الحية لعوامل التحلل لمدة طويلة (الأمطار - تغير في درجات الحرارة - عوامل التجوية الكيميائية - فعل البكتيريا).

2. دفن بقايا الكائنات الحية بعد موتها في رواسب ذات مسامية ونفاذية عاليتين مثل الرمال.

3. تأثر بقايا الكائنات الحية بعد موتها بعوامل التحول (الضغط والحرارة)

4. نقل البقايا الصلبة للكائن الحي من مكان لأخر بفعل عوامل النقل الطبيعية كالمياه و الرياح للإتلاف الميكانيكي أو الكيميائي مثل الإذابة. كل تلك العوامل تعكس ندرة تكون أحفورة مرشدة.

و لنا أن نتساءل من أي المواد تتخذ الكائنات أصدافها و عظامها و أسنانها و غير ذلك من الأجزاء الصلبة التي يمكن أن تتأخر من بعد موت أو هلاك ؟ و تترتب هذه المواد من حيث الوفرة على النحو التالي :-

1- كربونات الكالسيوم :- يعتبر الكالسيت و الأراجونايت

معدنين شائعين لهما ذات التركيب الكيميائي ولكن النظام البلوري لكل منهما مختلف عن الآخر و تتواجد جزئيات كل منهما ذائبة في مياه البحر و تستخدمه كثرة من اللافقاريات البحرية في بناء أصدافها و بسبب أن معدن الأراجونايت قابل للتجوية و التغير، أسرع من الكالسيت فإن احافير الحيوانية التي استخدمت الأراجونايت لا تحفظ بنفس الجودة من الكائنات التي استخدمت الكالسيت

2- السيليكا :- تستخدم تلك المادة بواسطة أعضاء ثلاثة

مجاميع مختلفة فقط و هي :- الدياتومات (Diatoms) و الرديولاريات Radiolarians و قليل من الأسفنجيات Sponges و تعتبر السيليكا من أكثر المواد المقاومة للتحلل و التلف و من ثم فأحافيرها جيدة الحفظ.

3- فوسفات الكالسيوم :- وهي المادة الأساسية التي تستخدمها الكائنات الحية مثل المرجانيات و ذوات الفصوص الثلاثة لبناء الجزء الصلب في أجسامها و كذلك تبنى الأسنان و العظام في غالبية الكائنات.

4- المادة العضوية :- و تتضمن المركبات العضوية المعقدة مثل السيليلوز و الكيوتين و اللجنين و غيرها من المواد التي تستخدمها النباتات و هي عادة تحفظ على شكل أغشية كربونية بما يشبه الطبقات و لا تحفظ في سجل الصخور كأحافير. واضح مما سبق أن أهم الأحافير و أحسنها حفظا ما كانت عن كائنات بحرية .

أنواع وطرق التآحفر :-

هناك العديد من الطرق التي تحفظ بها الكائنات الحية أو بقاياها نورد منها :-

أولاً :- الحفظ دون تغير :- و هي تعتبر من أكثر وسائل الحفظ شيوعاً في اللافقاريات البحرية حيث تتوفر ظروف الدفن السريع و وجود الأجزاء الصلبة، بجانب أن أصدافها هي كذلك تحفظ بدون أن يطرأ عليها تغير ملحوظ.

أما الكائنات الحية التي تعيش على اليابسة فلها ثلاثة طرق للحفظ حفظاً كاملاً، وإن يكن نادراً

و تلك هي :-

أ- التصمغ (Amberization)

هو ما يمدنا بمعلومات عن الحشرات و الحياتية النباتية فحين يتهرأ لحاء بعض الأشجار و بخاصة في بعض الصنوبريات فإن مادة صمغية سميكة لزجة تنساب في بطن خارج تلك الجروح، مثل تلك المادة تعمل كمصيدة كبيرة للكثير من الحشرات و كذلك ما تحمله الرياح و البذور و تويجات الزهور و بعدها تتحول تلك المادة إلى عنبر أو كهرمان و من أفضلها ما أكتشف في منطقة البلطيق الأوربية و مثال ذلك الحشرات التي عاشت في عصر الأيوسين منذ نحو خمسين مليون سنة حتى إنه يوجد سجل كامل للعنكبوت الحريري محفوظ في تلك المادة و بذلك تمكن الجيولوجيين من تتبع تاريخ التطور للعديد من الحشرات.

ب- السقوط في القار :-

و هي واحدة من الطرق غير العادية لحفظ الكائن الحي كاملاً و حتى بدون تغير فحفر القار في كاليفورنيا مثلاً توجد منذ عهد البليستوسين قد أمت الحياة

القديمة بتقرير مدهش عن الحياة في منطقة شبه جافة في العصور الجليدية و غطت الأجزاء الشمالية من القارة الأمريكية حيث ملئت الشقوق و الكسور بالنفط ز كونت ما يشبه البرك المملوءة بالقار و التي تحوي العديد من الثدييات و الحشرات و الطيور.

ت- التجمد في الجليد :-

و قد أمدتنا هذه الطريقة بجلد ولحم و شعر بل و محتويات معدة حيوان الماموث الصوفي من أسلاف الفيلة و الذي كان يعيش منذ نحو مائة ألف سنة إلى عشرة آلاف سنة في سهول سيبيريا و ألاسكا المتجمدة والغريب أن دم تلك الحيوانات الأحمر، و هو أول دم يتأحفر، أدخل إلى المعمل و أمكن تحليله كاملا.

ثانيا :- الحفظ مع التغير :- وتشمل

أ- التمدن

ب- الإحلال " التحجر "

ت- التشكل الكاذب

ث- التفحم

ج- إعادة التبلور

ويمكن حفظ الأحافير بعدة طرق الرئيسية منها هي:

1 - تكوين الطبقات والقوالب النماذج

2- (التفحم)

3- التحجر (الاستبدال)

4. - إعادة التبلور.

1- تكوين الطبقات والقوالب و النماذج :- تتكون بعض الأحافير

من شكل محفوظ أو خطوط عريضة لبقايا نبات أو حيوان. كما تتكون الطبقات وتسمى أحياناً الصور أو النقش، وهي منخفضات أحفورية ضحلة في الصخر، عندما تُدفن بقايا رقيقة من أجزاء من النبات أو الحيوان في راسب وتتحلل. وبعد تحوّل الراسب إلى صخر، فإن ما يتبقى محفوظاً هو في الواقع معالم للنبات أو الحيوان. ويتكون العديد من الآثار من خطوط صغيرة تركتها عظام أسماك أو أوعية ذات جدار سميك كانت قد وجدت في داخل الأوراق. وفي بعض الأحيان تحفظ الأجزاء الناعمة الطرية مثل الريش أو الأوراق على شكل طبقات ومن الآثار الأحفورية وهو ما يخلفه الكائن الحي ويدل على طريقة تحركه أو تغذيته أو معيشته (الطبقات - الجحور - الثقوب والتجاويف - الفضلات المتأخرة - الأحافير الكيميائية) يُشكّل القالب بعد دفن الأجزاء الصلبة في الوحل أو الطين أو مواد

أخرى يمكن أن تتحول إلى صخر . وفيما بعد، تقوم المياه بإذابة الجزء الصلب المدفون تاركة وراءها قالبًا — وهو منطقة مجوفة تشبه الجزء الأصلي الصلب — داخل الصخر . أما المصبوب (النموذج) فيتشكل عندما ينزح الماء المحتوي على معادن مذابة وجسيمات أخرى دقيقة من خلال القالب، حيث يرسب الماء هذه المواد والدقائق التي تملأ القالب في نهاية الأمر مُشكِّلة نسخة من الجسم الأصلي الصلب. والعديد من الأصداف البحرية محفوظة على صورةقوالب أو نماذج.

و قد عثر على تشكيلات بنائية كاذبة في الطفوح البركانية، في خلجان المحيط الباسفيكي، حيث تداخلت النباتات في الطفوح ثم طمرت فيها فاحتقرت تماما تاركة بعدها فراغا(قالبا لشكلها الخارجي)، من بعد ذلك بالمرور فكان أحفورة.

2- التفحم. تنتج عندما تترك الأنسجة المتحللة خلفها آثارًا من الكربون. وتُبنى الأنسجة الحية من مركبات الكربون وعناصر كيميائية أخرى. وعندما تتحلل الأنسجة إلى مكوناتها الكيميائية فإن معظم هذه الكيميائيةات تختفي. وفي حالة الكربنة تبقى طبقة رقيقة من غشاء كربوني بشكل الكائن. ومن خلال الكربنة تم حفظ أسماك لحمية هلامية لا هيكل صلب لها ونباتات وكائنات ذات أجسام طرية بتفاصيل دقيقة جدًا مثل الديدان. وأفضلها ما عثر عليه في الطفل في كندا.

3- التحجر.(الإحلال) أصبحت نباتات وحيوانات كثيرة متأخرة بعد أن تسربت المياه المحتوية على معادن في مسام الأجزاء الأصلية الصلبة. ويسمى هذا

الفعل بالتحجّر وفي العديد من هذه الأحافير فإن بعض المادة الصلبة — إن لم يكن كلها — قد أبقتها المعادن بل قوّتها وصلّبتها. وتسمى هذه العملية التمعّد والعمليّة الشائعة في حفظ بقايا. وقد عثر على أخشاب أحفورية من مستوى الأفرع الصغيرة إلى جذوع أشجار ضخمة في مناطق عدة من العالم. وتوجد هذه الأخشاب الأحفورية في بعض المناطق بنسب كبيرة جدًا لدرجة أنها سميت الغابات المتحجرة فمنطقة شمالي أريزونا في الولايات المتحدة الأمريكية — على سبيل المثال — تحوي المتنزه الوطني للغابات المتحجرة. ويُعتَقَد بأن هذا المتنزه أكبر مناطق العالم من حيث كمية الأخشاب الأحفورية الغنية بالألوان.

وفي حالات أخرى، فإن المعادن في الماء تحل كليًا محل النبات أو الحيوان الأصلي وتسمى هذه العملية الإحلال، وتشمل حدثين في الوقت نفسه؛ حيث يذيب الماء المركبات المكونة للمادة الأصلية، بينما تترسب المعادن بدلاً منها. ويمكن لعملية الإحلال هذه أن تنتج نسخة مطابقة للأصل قد تشمل حتى التفاصيل المجهرية للجزء الأصلي الصلب من المادة ويسمى بالإحلال الصادق كما هو الحال في بقايا الأشجار المتحجرة التي اكتشفت في منطقة الرقة في دولة الكويت.

وفي بعض الأحيان تتم عملية الإحلال بطريقة غير منتظمة فينتج عن ذلك حفظ الهيئة الخارجية للأحفورة بينما تضيع تفاصيل بنائها الداخلي تمامًا وتعرف هذه العملية بعملية الإحلال الكاذب ومن أمثلتها إحلال هياكل بعض الحيوانات من معدن البيراييت..

طريقة الترشيح وهي عبارة عن إذابة أكثر الأجزاء القابلة للذوبان مما يؤدي إلى عملية تبييض أو نخر القواقع والأصداف أو العظام المتأحفة

عمليات أخرى يمكن للنباتات أو الحيوانات أن تتأخر أحياناً بتغير قليل أو دون تغير؛ ففي عملية التحنيط، يتم حفظ جلد الحيوان وبعض الأنسجة الأخرى بالتجفيف أو بفعل مواد كيميائية. ويمكن أن تتم عملية التحنيط فيما لو دفن الحيوان الميت في مكان جاف مثل الصحراء، أو في مادة الأسفلت، أو أي مادة زيتية.

4 - إعادة التبلور. و يحدث ذلك عندما تتعرض مادة صلبة لظروف تؤدي إلى تغيير في التركيب البلوري ذاته و التي تؤدي إلى طمس و إخفاء تفاصيل الكثير من الكائن الحي الذي كان و مثال ذلك تحول الحجر الجيري إلى دولوميتي.

أهمية الأحافير

لولا الأحافير لكان العالم العضوي ما قبل العصر الحديث تقريباً مجهولاً كلية، و كانت اختفت نظريات التطور أو فقدت الأدلة المادية التي تدعمها و بقيت المعلومات عن البيئات القديمة و شروطها مغلقة علينا.

لقد أدت دراسة الأحافير المحفوظة خلال السجل الجيولوجي إلى فهم العالم العضوي على أنه عالم متطور، ينسجم مع التغيرات البيئية. وأن مراحل التطور تدريجية و متلاحقة يرتبط بعضها ببعض مما ترك أثره في علاقة التتابع الطبقي بالزمن السترايجرافي و استند عليه في كتابة السجل الجيولوجي.

1- تساعد الأحافير في إثبات نظرية التطور : ومع أن السجل الأحفوري غير مكتمل، فإن العديد من المجموعات النباتية والحيوانية الهامة قد ترك بقايا أحفورية. وقد مَكَّنَتْ هذه الأحافير العلماء من تصور نماذج الحياة التي وُجدت في عصور زمنية مختلفة في الماضي، وكذلك معرفة كيف عاشت أنواع ما قبل التاريخ. كما تشير هذه الأحافير لكيفية تغير الحياة مع الزمن على الأرض.

تبين الأحافير أنه ما بين فترة 210 مليون سنة إلى 63 مليون سنة خلت، عاشت مجموعة من الزواحف ذات إصبع واحد طويل نحيف يبرز من عند كل طرف أمامي. ولا تشبه البنية العظمية أيًا من تلك الزواحف المعاصرة الآن. ومع ذلك، يبدو أنها تشبه أجنحة الطيور المعاصرة. وحيث إن الطيور المعاصرة تستعمل الأجنحة للطيران، فإن علماء الأحافير استنتجوا أن تلك المخلوقات المنقرضة كانت تطير. وأطلقوا عليها اسم السحالي المجنحة.

إن معرفة ظروف موت وانطمار الأحافير يمكن أن تبين كيف عاشت. فقد وجد علماء الأحافير أعشاشًا أحفورية لديناصورات في حداثتها. تشير هذه الأحافير إلى أن بعض أنواع الديناصورات كان يعتني بصغاره ويقوم بتغذيتها في أعشاش مهيأة، تقريبًا كما تفعل طيور اليوم.

وتقدم آثار الأقدام والممرات والمسالك، المسماة الآثار الأحفورية، معلومات عن سلوك حيوانات ما قبل التاريخ. فعلى سبيل المثال، توحى بعض آثار الأقدام بأن بعض أنواع الديناصورات سارت في قطعان. كما أن بعض الآثار الأحفورية تبين أن بعض الدينان المنقرضة قد عاشت في أنفاق بسيطة محفورة في قاع البحر.

2- تساعد احافير الحيوانات على التعرف بدقة إلى طبيعة البيئة : التي كانت تعيش فيها تلك الحيوانات وخصوصا إلى ظروف نشوء الطبقات والصخور , فذو المصرعين الحالي مثلا (سكروبيكولاريا) يعيش غارقا في الأوحال الفقيرة ,لذلك عندما نعثر على احافير في داخل صلصال نستنتج أن الترسيب قد حصل في بيئة ينقصها الأكسجين.

3- كما تساهم في تحديد العمر لكل طبقة أو لمجموعة من الطبقات في سلسلة التكوينات الجيولوجية التي يتكون منها السلم الزمني.

4- ويمكننا تعرف الأحداث الجيولوجية في الأزمنة الغابرة من تقدم البحار وانحسارها مثلا عبر الزمن الجيولوجي

5- تتبّع مظاهر الحياة :يقدم السجل الأحفوري دليلاً مهماً لتاريخ الحياة. وتشير الأحافير إلى أنه، على مدى مئات الملايين من السنين، قد حفلت الحياة على الأرض بخلايا بكتيريا بسيطة وحيدة الخلية وطحالب إلى جانب عديد من الكائنات المعقّدة والمتنوعة. كما تشير أيضًا هذه الأحافير إلى أن بعض الأنواع قد تغيرت جذريًا وحت محلّها أنماط حياة جديدة متأقلمة كليًا.

ويبين موقع الأحافير في طبقات صخرية رسوبية كيف ازداد تباين الكائنات الحية عبر الزمن. فكلما ترسب الراسب، حطت طبقات جديدة فوق الأقدم منها. وعند تحول الترسيبات إلى حجر، فإن هذه الطبقات تبقى محفوظة حسب زمن ترسيبها. وفي الطبقات التي لم يفسد ترتيبها نجد أن الأحافير في المناطق السفلية

— أي الأقدم عمرًا — أقل تعقيدًا من التي توجد في الطبقات الأصغر عمرًا والموجودة قرب السطح.

أما الطبقات التي عمرها حوالي 600 إلى 500 مليون سنة مضت فتحتوي أحافير لحيوانات لافقارية، شاملة الحيوانات البحرية المنقرضة المسماة ثلاثية الفصوص. وتظهر بقايا الأسماك الأحفورية في طبقات عمرها نحو 400 مليون سنة. أما بعض الطبقات العليا التي تشكلت في الفترة بين 330 - 260 مليون سنة مضت فإنها تحتوي على آثار بعض حيوانات اليابسة المبكرة مثل البرمائيات والزواحف الصغيرة.

تبين الأحافير أيضًا كيف أن بعض المجموعات النباتية والحيوانية أصبحت أكثر تنوعًا. فالأوراق الأحفورية وحبوب اللقاح للنباتات الزهرية الأولى ترجع إلى العصر الطباشيري المبكر أي قبل 138 مليون سنة مضت. وتسجل هذه الأحافير عددًا قليلًا من الأنواع. أما أحافير منتصف العصر الطباشيري أي قبل حوالي 90 مليون سنة، فتشمل تشكيلة واسعة من النباتات الزهرية من العديد من البيئات المختلفة.

6- تسجيل التغيرات في الأرض يستخدم العلماء الأحافير في تحديد كيفية تغير مناخ الأرض وكذلك تضاريسها عبر ملايين السنين. فقد وجدوا على سبيل المثال، أحافير بعض أشجار النخيل الاستوائية في مناطق ذات مناخ معتد (بارد) اليوم. كما وجدوا طبقات من الفحم الحجري - وقود أحفوري - المتكون من بقايا النباتات التي انقرضت قبل ملايين السنين، في القارة القطبية الجنوبية حيث تشكل اليوم مناطق أكثر برودة لتنمو بها هذه النباتات. وتشير مثل هذه الأدلة

إلى أن مناخ هذه المناطق قد تغير. وقد وجد علماء الأحافير، احافير أصداف بحرية في صخور بعيدة في وسط اليابسة في أيامنا هذه. وتبين مثل هذه الأحافير أن مياه البحر كانت في يوم ما منتشرة عبر هذه المناطق.

وتعطي الأحافير أدلة تدعم نظرية الزحف القاري، وهي الفكرة التي تنص على أن مواقع القارات قد تغيرت على مدى مئات الملايين من السنين الماضية. وقد وجد العلماء احافير لديناصورات متشابهة في كل القارات الحديثة. ونتيجة لهذا يعتقد علماء الأرض أن كل الكتلة الأرضية تقريبًا كانت موحدة في قارة واحدة عملاقة. ويشير هذا إلى أنه بعد حوالي 200 مليون سنة من ذلك التاريخ كانت القارة العملاقة بدورها تتجزأ أو تنفصل. وكانت القارات تبتعد ببطء إلى وضعها الحالي.

وتساعد هذه النظرية، على سبيل المثال، في تفسير وجود الكنغريات في أستراليا؛ وهذه الحيوانات لا تشبه أيًا من الحيوانات في بقية العالم.

7- تعرف المناخ القديم. تساعد الأحافير في تعرف المناخ السائد وقت ترسيبها فوجود احافير وأحياء لا تعيش إلا في المناطق الحارة كالمرجان والنخيل في طبقات صخور باردة يدل على أن المناخ السائد وقت ترسيبها كان حارًا.

جمع الأحافير.

تختلف طرق جمع الأحافير باختلاف أنواعها فأسهلها جمعًا أحافير الأصداف والأسنان والعظام المحفوظة في الرمل الناعم أو الوحل ويمكن للعلماء أن يستخرجوا هذه الأحافير بالمالج (المسطرين) أو بالمجرفة أو باليد. أما الأحافير

المحفوظة في الصخور الصلبة فيمكن اكتشافها واستخلاصها بسهولة عندما تصبح هذه الصخور مكشوفة بالتجوية الطبيعية. والتجوية تشير إلى مجموعة العمليات الكيميائية والفيزيائية التي تجزئ الصخر على سطح الأرض وتعرية. وفي هذه الحالة نجد أن الأحافير الأكثر مقاومة لعوامل التجوية من الصخور المحيطة تصبح بارزة إلى الخارج بدرجة أكثر من أسطح الصخور المكشوفة. ومعظم هذه الأحافير يمكن جمعها بتفكيك الصخور بإزميل أو مطرقة أو بالخلال. ويقوم العلماء بجمع الأحافير المخبأة في الصخر الصلب بكسر الصخر باستعمال المطرقة الثقيلة أو باستعمال المطرقة والأزميل وغالبًا ما تتكسر الصخور المحتوية على الأحافير على امتداد أسطح الأحافير.

أما الأحافير الهشة فيتعين صيانتها قبل استخراجها من الصخور. ويقوم العلماء عادة بإحاطة الأجزاء المعرضة من الأحافير بطبقات من القماش المبلل بالجلس الرطب. وبعد تصلبه يمكن استخراج الأحافير من الصخر ونقلها إلى المختبر حيث تتم إزالة الجص.

وفي المختبر يستعمل علماء الأحافير أدوات كهربائية للطحن وملاقط دقيقة، بل يستعملون إبرًا لإزالة أي صخر متبقٍ. أما الأحافير المحاطة بالحجر الجيري فيتم نقعها في محلول حمضي ضعيف يذيب الحجر الجيري ولا يؤثر على الأحفورة. وقد يقرر العلماء ترك الأحفورة مكشوفة بشكل لافت للنظر لكنها تظل جزئيًا مخبأة في الصخر.

التعامل مع الشظايا يتم الحصول على العديد من الأحافير في شكل شظايا لا بد من تجميعها كأنها أجزاء من أحجية معقدة.

وبصورة عامة ففي المرة الأولى التي يعاد فيها تركيب الأحفورة بهذه الطريقة فإن الشظايا يجب أن تمثل كامل العينة. ويمكن بعدها إعادة التركيب من شظايا غير مكتملة بعد مقارنتها بالأحفورة الكاملة وتعويض الأجزاء المفقودة باستعمال مواد صناعية.

تحديد تاريخ الأحافير. خلال سنوات عديدة من البحث، تمكن علماء الأحافير من فهم الترتيب في السجل الجيولوجي لمعظم أنواع الأحافير. وعند أول اكتشاف لنوع أحفوري فالمفترض أن يوجد عادة مصاحباً لأنواع أخرى. وإذا عرف العلماء موقع وتاريخ حياة هذه الأنواع الأخرى سيكون بمقدورهم تحديد موقع الأجناس المكتشفة ويشير هذا النوع من تحديد التاريخ فقط إلى ما إذا كانت أحفورة أقدم أو أحدث من الأخرى، ولا يعطي عمر الأحفورة بالسنين.

ويقوم علماء الأحافير بتحديد عمر الأحفورة بقياس النظائر المشعة في الصخور المحتوية على الأحفورة. والنظائر المشعة عناصر كيميائية تتحلل أو تتلاشى لتشكل مواد أخرى. ويعرف العلماء معدل تحلل العناصر المشعة المختلفة. ومن خلال مقارنة كمية النظير المشع في الصخور بكمية المادة المنتجة عن التحلل، يتمكن العلماء من حساب المدة الزمنية التي استغرقتها عملية التحلل. وهذه الفترة الزمنية تشكل عمر الصخور والأحافير التي تحتويها.

تصنيف الأحافير :-

و كان يعتمد في البداية على التشابه الخارجي لربط العلاقة بين الأحافير و كان من نتيجة ذلك وضع احافير مختلفة الأصل في مجموعات واحدة، و

أحفافير متشابهة الأصل في مجموعات مختلفة. و عندما تأكد الأصل العضوي للأحفافير نظم تصنيف الأحافير حسبما اتبع في علم الأحياء بالنسبة لتصنيف الكائنات الحية الحديثة. و أول من وضع و نظم مبادئها عالم النبات السويدي كارل لينيه (1707 - 1778 م) الذي قسم التصنيف إلى سبعة مستويات (أو رتب) بحيث يمكن تدرجه في مستويات التصنيف المعروفة (مملكة/ شعبة/ طائفة/ رتبة/ فصيلة / جنس/ نوع)

و اقترح لينيه أن يتكون الاسم العلمي للكائن الحي من أسمين لاتينيين، هما الجنس و النوع و يبتدي اسم الجنس بحرف كبير و اسم النوع بحرف صغير و يرسم تحت الاسمين خط مثل Homo sapiens أي إنسان عاقل.

الديناصورات كأهم الأحافير المكتشفة

دائماً كنا ومازلنا نسمع عن الحيوانات والكائنات المنقرضة.. لكن لو فكرنا بها حقاً وبأي نوعٍ منها يخطر ببالنا قبل أي شيء آخر.. الديناصورات.. حسناً لا يعني أنني ذكرت الأمر أنني أريد أن أقول أن تبادره إلى ذهننا وأنّ معلوماتنا عنه خاطئة.. ولكن ما أريد قوله هو.. كم منا يعرف أنواع الديناصورات المنقرضة.. سلالاتها.. حياتها.. طبيعة معيشتها.. سبب انقراضها.. صفاتها.. أحجامها.. إلخ..

هي مجموعة متنوعة من الحيوانات البائدة، وقد كانت تعتبر لطيلة 160 مليون سنة الفقاريات المهيمنة على سطح الكرة الأرضية، وبالتحديد منذ أواخر العصر

الثلاثي (منذ حوالي 230 مليون سنة) حتى نهاية العصر الطباشيري (منذ حوالي 65 مليون سنة).

ولكن ما معنى كلمة "ديناصور"؟

صيغ مصطلح ديناصوريا (باللاتينية Dinosauria): رسميًا في سنة 1842 بواسطة عالم الإحاثة الإنجليزي، السير ريتشارد أوين الذي استخدمه للإشارة إلى "القبيلة أو الطبقة المميزة للزواحف السحلية" التي قد مُيزت في إنجلترا وحول العالم. اشتق المصطلح من الكلمات الإغريقية: "داينوس" (باليونانية: δεινός) بمعنى "عظيم"، "قوي"، أو "مذهل"، و"سوروس" (باليونانية: σαύρα) بمعنى "عظاءة" أو "زاحف".

بالرغم من أن الاسم العلمي يُفسر غالبًا بأنه إشارة إلى أسنان الديناصورات ومخالبها وبقية خصائصها المخيفة، إلا أن أوين قصد أن يُشير به إلى حجم الديناصورات ومهابتها.

وتُستخدم كلمة "ديناصور" في الإنجليزية العامية أحيانًا للإشارة إلى شيء غير ناجح أو شخصٍ فاشل، على الرغم من سيادة الديناصورات لمائة وستين مليون سنة، وانتشار سلالات أحفادها الطيور وتنوعها.

تُستخدم تسمية "ديناصور" في اللغة العربية إجمالاً للإشارة إلى هذه الحيوانات، وهي لفظ محرّف لكلمة "Dinosaur" الإنجليزية، والبعض يكتبها "دينوصور" كما في اللفظ الفرنسي "Dinosaure".

تندرج الديناصورات تحت نطاق "الكائنات حقيقية النوى"، من ضمن مملكة "الحيوانات"، ومن ضمن شعبة "الحبليات"، تحت طائفة تسمى "الزواحف" من ضمن طبقة "الأركوصوريات" والتي تندرج منها رتبة "الديناصورات".

وقد اندثرت معظم أنواع وفصائل الديناصورات خلال حدث انقراض العصر الطباشيري-الثلاثي، وقد اعتقد العلماء لفترة طويلة أنها لم تخلف ورائها أي نسب، إلا أن ذلك الافتراض ثبت خطؤه، حيث اكتشف الباحثون في وقت لاحق أن الطيور هي أقرب أنسباء الديناصورات الباقية في العصر الحالي، وذلك من خلال ما ظهر من مستحاثات تربط بين الصنفين، حيث تبين أن جميع الطيور اليوم تتحدر من سلف مشترك تطور من الديناصورات الثيروبودية خلال العصر الجوراسي.

وكذلك، فإن معظم التصنيفات الحديثة تضع الطيور كمجموعة باقية من رتبة الديناصورات.

وتعتبر الديناصورات إحدى أكثر مجموعات مملكة الحيوان أشكالاً؛ فسليلاتها من الطيور أكثر الفقاريات تنوعاً على وجه البسيطة، حيث يوجد منها ما يفوق 9000 نوع.

وقد استطاع علماء الأحياء القديمة التعرف على ما يزيد عن 500 جنس و1000 نوع مختلف من الديناصورات غير الطيرية، واليوم يمكن العثور على أشكال مختلفة من الديناصورات في جميع قارات العالم، سواء حية ممثلة بالطيور، أو نافقة تُعرّف بواسطة مستحاثاتها.

وكان عدد من الديناصورات عاشبًا وكان بعضها الآخر لاحمًا، كما أن أنواعًا منها سارت على قائمتيها الخلفيتين، فيما سارت أنواع أخرى على أربع قوائم، واستطاع بعضها أن يتنقل باستخدام الطريقتين.

كما وطوّرت العديد من الديناصورات غير الطيرية امتدادات خارجية لهيكلها العظمي شكلت لها درعًا جسدًا أو طوقًا عظميًا أو قرونًا، وقد حققت بعض الفصائل شهرة عالمية بسبب غرابة شكلها الخارجي كما يتصوره العلماء.

أما الديناصورات الطيرية فقد سيطرت على أجواء الكرة الأرضية منذ انقراض الزواحف المجنحة التي كانت تعتبر منافستها الأساسية والسبب الرئيسي الذي يكبح تطورها.

وتشتهر الديناصورات بفعل حجم بعض الأنواع الضخمة، الأمر الذي يولد فكرة لدى العامة مفادها أن جميع هذه الحيوانات كانت عملاقة، إلا أنه في واقع الأمر فإن معظم الديناصورات كانت بحجم الإنسان أو أصغر حتى.

يُعرف أن معظم فصائل الديناصورات كانت تبني أعشاشًا لتضع فيها بيضها وتحضنه حتى الفقس.

كما وأصبحت الهياكل العظمية للديناصورات المعروضة في المتاحف حول العالم تشكل معالم جذب سياحية مهمة، منذ أن اكتُشف أول أحفور لديناصور في أوائل القرن التاسع عشر، وتحوّلت هذه الحيوانات إلى رمز من رموز الثقافة العالمية والمحلية لبعض البلدان.

وكما نعرف جميعنا فقد صُوّرت الديناصورات في الكثير من الروايات والأفلام السينمائية التي حققت نجاحاً كبيراً ونسبة مبيعات هائلة، مثل سلسلة "الحديقة الجوراسية" Jurassic Park : كذلك فإن أي اكتشاف جديد على درجة كبيرة من الأهمية تغطيه وسائل الإعلام المختلفة وتقدمه للجمهور المهتم بهذه الأمور.

ولكن أين كان الانتشار الجغرافي لهذه الديناصورات؟

خلال فترة الحقبة الوسطى التي عاشت أثناءها الديناصورات لمدة 165 مليون عام شهد العالم الكثير من التغيرات على الكوكب، من أبرزها انجراف مواقع القارات وتغير المناخ اللذين أثرا إلى حد كبير على حياة الديناصورات وبيئاتها. لكن هذه الزواحف قطنت عموماً خلال فترة وجودها على الأرض القارات السبع جمعاء بما في ذلك أنتاركتيكا وأستراليا وجميع القارات الأخرى.

ومع مطلع العصر الثلاثي كانت لا تغطي الأرض سوى قارة واحدة عملاقة اسمها بانجيا، وكان مناخ العالم آنذاك أكثر حرارة بقليل مما هو اليوم، وقد كان لربط القارات هذا أهمية بالغة في إتاحة تنقل الديناصورات وانتشارها بين القارات.

كانت أولى الديناصورات الحقيقية المعروفة هي الإيورابتور والهيريراصور اللذين عثر على بقاياهما في الأرجنتين في طبقات العصر الثلاثي، ولذلك تعتبر دراسات علمي العلاقات التطورية والجغرافيا الحيوية قارة أمريكا الجنوبية مهد الديناصورات وموطن نشوئها الأول.

ونظراً إلى أن كل يابسة الأرض كانت مُتحدة آنذاك في بانجيا، فقد اتسعت مناطق انتشار هذه الزواحف بُسرعة لكي تشمل قارات أمريكا الشمالية وأفريقيا وأوروبا فضلاً عن أمريكا الجنوبية نفسها، وبالرغم من هذا فقد كانت أنواع الديناصورات لا تزال قليلة في ذلك الوقت، ولذا فكان كل نوع منها يشغل مساحة جغرافية واسعة نسبياً. ويجعل انتشار الديناصورات الثلاثية الواسع هذا من دراستها وتتبع تنوعها وانتشارها أمراً صعباً.

ومع مجيء العصر الجوراسي المبكر (200 - 170 مليون سنة خلت) كانت لا تزال قارة بانجيا مُترابطة إلى حد ما، وظلت روابط اليابسة قائمة بين كافة القارات السبع، ولذلك احتفظت الديناصورات والفقاريات الأرضية الأخرى بمعدل توطنها الفريد الذي كان مُنخفضاً بشكل غير اعتيادي مع اتصال العالم ببعضه. وخلال هذه الفترة (العصر الجوراسي) بدأت الديناصورات تهيمن وتفرض سيطرتها الحقيقية على أشكال الحياة الأرضية، وكذلك زادت أكثر من انتشارها الجغرافي عبر العالم.

وخلال هذا العصر قبل 180 مليون سنة تقريباً بدأت قارة بانجيا بالتفكك، مما سبب الكثير من التغيرات الجغرافية والمناخية على الكوكب. فخلال تلك الفترة بدأ جليد القطبين بالذوبان وأخذ مستوى البحر بالارتفاع وبغمر مساحات ضخمة من أراضي الكوكب، وقد زاد هذا بدوره من مُستوى الرطوبة ومن ثم الأمطار، فأصبح المناخ أكثر اعتدالاً بينما نمت غابات غنية بأشكال الحياة المُتنوعة، وساعدت هذه الظروف البيئية الديناصورات على زيادة أعدادها وهيمنتها.

كما أخذت القارات بالتفكك والانعزال عن بعضها سريعاً في هذا الوقت، ففي العصر الجوراسي المتأخر انجرفت أمريكا الشمالية شمالاً مُنفصلة بذلك عن أمريكا الجنوبية، وبذلك شكلت أمريكا الشمالية جنباً إلى جنب مع أوروبا جزءاً من قارة لوراسيا، بينما ظلت الجنوبية مُتحدة مع أنتاركتيكا وشبه القارة الهندية وأستراليا مُشكلين غوندوانا قبل أن تتجرف أستراليا بعيداً مُبتدئة بذلك انعزالها الطويل المُستمر إلى يومنا هذا.

ومع هذا التفكك السريع وانعزال أجزاء العالم عن بعضها البعض بدأت الديناصورات تخسر قدرتها على التنقل بين القارات، وبدأت معدلات التوطن عند أنواعها بالارتفاع، بينما أخذت ديناصورات كل قارة تتطور وحدها مُنعزلة عن ديناصورات القارات الأخرى.

لا يُوجد أي دليل صريح حتى الآن على حدوث ارتفاع شديد في الحرارة أو تغير ذو قيمة في المناخ خلال العصر الطباشيري، وهو آخر عصور الحقبة الوسطى التي عاشت خلالها الديناصورات. أما بالنسبة للقارات فقد ابتعدت عن بعضها البعض كما لم تبتعد قبلاً سوى مرات قليلة في تاريخ الأرض كله، فقد كانت أنحاء العالم مُعزولة عن بعضها كثيراً وأخذ مُعدل التوطن عند الديناصورات بالارتفاع طوال العصر الطباشيري المتأخر.

وخلال هذا العصر قسمت العالم العديد من البحار الضحلة هنا وهناك، ففصل بين غرب أمريكا وشرقها بحر ضحل، وقد كان يتصل غربها قبل ذلك مع آسيا عبر جسر يابسة قبل أن يفصل بين نصفي القارة هذا البحر فيُصبح غربها

جزيرة معزولة بينما يتحد شرقها مع أوروبا وجرينلاند، أما بقية أراضي العالم الجنوبية فقد تابعت الانجراف مُبتعدة عن بعضها.

وكنتيجة لهذا فقد اختلفت أنواع الديناصورات بين القارات، فسادت بشكل عام خلال هذه الفترة في نصف الأرض الجنوبي مجموعات الديناصورات القديمة التي لطالما قطنته، مثل الصوروبودات والأورنيثوبودات في النصف الشمالي أنواع جديدة تماماً مثل السيراتوبيات والهادروصوريات. وقد ازداد تنوع الديناصورات إلى حد كبير وملحوظ خلال هذا العصر، بينما تقلصت نسبياً المساحة الجغرافية التي يتوزع عليها كل نوع مع ازدياد هذا التنوع. واستمرت الديناصورات على هذه الوتيرة خلال العصر الطباشيري وتنوعها يزداد مع ازدياد توطنها قبل أن تنقرض تماماً في نهاية ذلك العصر ضمن انقراض العصر الطباشيري-الثلاثي.

أما بالنسبة للبيئات التي قطنتها الديناصورات خلال فترة وجودها على الأرض بعيداً عن انتشارها الجغرافي فتحديدها أصعب قليلاً. فبشكل عام، من الصعب جداً تخمين طبيعة البيئات التي كانت موجودة الماضي باستخدام معلومات الأحافير والصخور التي تكون مُتوافرة عادة. والسبب وراء هذا أنه لا يُعثر سوى على القليل من أحافير الحيوانات أو النباتات التي عاصرت وجود ديناصور ما (في حال عثر عليها أساساً)، علماً بأن دراسة النباتات القديمة بالإضافة إلى دراسة النظائر الجيوكيميائية التي يُمكن من خلالها تحديد الحرارة في تلك العصور هما الوسيلتان الأساسيتان لمعرفة طبيعة البيئات القديمة (بينما لا تخدم عظام الديناصور سوى في معرفة موقع موته)، وحتى في الحالات التي يُعثر

فيها على بقايا تلك النباتات فإن تحديد ما بدت عليه البيئة التي قطنها الديناصور وما كانت معالمها وتضاريسها هو أمر بالغ الصعوبة، مما يدفع مُعظم الإحاثيين إلى عدم التطرق لهذا الأمر وترك دراسته.

كل ما ذكرته كان بشكل عام، ولكن دعونا نتطرق قليلاً للوصف المعاصر للديناصورات...

فوفقاً لتصنيف النشوء، فإن الديناصورات تُعرف عادة بأنها المجموعة التي تحتوي على "العظام ثلاثية القرون، الطيور المعاصرة، بالإضافة إلى أقرب أسلافها، وكل المتحدرين منها".

وقد اقترح البعض بأن الديناصورات ينبغي أن تُعرف وفق درجة قرابتها لأقرب سلفٍ مشترك للديناصور العظيم ميغالوصور والديناصور ذي سن الإغوانة إغواندون، بما أن هذين نوعان من ثلاثة نص عليها ريتشارد أوين عندما عرّف الديناصورات لأول مرة.

ينتج عن التعريفين نفس مجموعة الحيوانات المعرفة بكونها ديناصورات، ومن ضمنها: الثيروبودات، أو اللواحم ذات القائمتين؛ شبيهات طويلات الأعناق أو الصوروبودات، وهي عواشب رباعية القوائم؛ العظاءات المنصهرة أو الأنكيلوصوريات، وهي آكلة للعواشب، مدرعة رباعية القوائم (تشبه التمساح)؛ العظاءات المغطاة أو الستغوصوريات، وهي عواشب رباعية القوائم ذات صفائح عظمية على ظهرها؛ العظاءات القرناء أو السيراتوبسيات، وهي عواشب رباعية القوائم ذات قرون وأهداب، والعظاءات طيرية الورك أو الأورنيثوبودات، وهي

عواشب ثنائية أو رباعية القوائم من ضمنها "بطية المنقار". كُتبت هذه التعريفات لتستجيب للمفاهيم العلمية حول الديناصورات التي تسبق الاستخدام الحديث للتطور العرقي. ويُقصد باستمرارية المعنى منع أي التباس بشأن معنى المصطلح "ديناصور".

كما وهناك شبه إجماع عالمي بين علماء الإحاثة على كون الطيور سليفة الديناصورات الثيرابودية في العصر الحاضر. وباستخدام تعريف علم الأفرع المحدد الذي يوجب تضمين كل سلالات سلفٍ واحد شائع في مجموعة واحدة لجعل هذه المجموعة طبيعية، فإن الطيور تعتبر ديناصورات، وبناءً على ذلك فإن "رتبة" الديناصورات غير منقرضة. تصنف الطيور بواسطة معظم علماء الإحاثة على أنها تنتمي إلى مجموعة "ذات الأيدي السالبة" الفرعية (باللاتينية: Maniraptora؛ نقحرة: مانيرابتورا)، التي تنتمي بدورها إلى مجموعة العظاءات الحلقية أو الكويلوروصوريات (باللاتينية: Coelurosauria)، التي تنتمي إلى مجموعة الثيرابودات، التي تنتمي إلى مجموعة العظاءات مفصالية الورك أو الصوريكيات (باللاتينية: Saurischia؛ التي تنتمي إلى أصنوفة الديناصورات.

ومن وجهة نظر علم الأفرع، فإن الطيور تعتبر ديناصورات، على الرغم من أن كلمة "ديناصور" في الخطاب الاعتيادي لا تتضمن الطيور بل يُقصد بها تلك الزواحف البائدة. كذلك، فإنه من الصحيح تقنيًا الإشارة إلى الديناصورات بوصفها مجموعة مميزة تحت نظام تصنيف لينيوس الأقدم، الذي يقبل التصنيف شبه العرقي الذي يستثني بعض السلالات المتحدرة من سلفٍ واحد مشترك.

فإن الديناصورات (وليس من ضمنها الطيور) يُمكن أن توصف بأنها زواحف أركوصورية أرضية بأطرافٍ تنتصب تحت الجسم وُجدت منذ العصر الثلاثي المتأخر (حيث ظهر في الطبقات الصخرية) حتى العصر الطباشيري المتأخر (الذي انقرض في نهايته).

تعتبر كثيرٌ من الحيوانات قبل التاريخية ديناصوراتٍ في التصور الشعبية، ومثالٌ على ذلك الإكتيوصورات، الموساصورات، البليسيوصورات، البتيروصورات، والديميترودون، لكن هذه الحيوانات لا تُصنف علمياً على أنها ديناصورات. الزواحف المائية كالإكتيوصورات والموساصورات والبليسيوصورات لم تكن مخلوقاتٍ أرضية أو أركوصورات، وكانت البتيروصورات أركوصورات لكنها لم تكن أرضية، بينما كان الديميترودون حيواناً برمياً أقرب إلى الثدييات.

كانت الديناصورات الفقاريات المهيمنة على النظام الأرضي في الحقبة الوسطى، خصوصاً خلال العصر الجوراسي والطباشيري.

كانت مجموعات الحيوانات الأخرى خلال هذه الحقبة مقيدة من حيث الحجم والبيئة الملائمة، وعلى سبيل المثال، فنادرٌ ما تجاوزت الثدييات حجم قطة، وكانت غالباً لواحم بحجم القوارض تتغذى على فرائس صغيرة.

يُستثنى من هذه الحالة الرينومام العملاق: ترايكونودونت يزن ما بين 12 إلى 14 كيلوغراماً عُرف بأكله الديناصورات الصغيرة مثل السيتكوصورات الصغيرة.

وقد كانت الديناصورات مجموعة حيوانية شديدة التنوع، ووفقاً لدراسة أجريت في 2006 فإن خمسمائة (500) نوعٍ من الديناصورات قد عُرفَ بدرجة كبيرة من

التأكد حتى الآن، ويُقدر عدد الأنواع المحفوظات في السجلات الأحفورية بحوالي ألف وثمانمائة وخمسين (1850) نوعاً، يبقى حوالي 75% منها بانتظار أن تُكتشف.

وتنبأت دراسة سابقة بوجود ثلاثة آلاف وأربعمائة (3400) نوع من الديناصورات، بينها مجموعة كبيرة لم تُحفظ في سجلات أحفورية.

واعتباراً من 17 سبتمبر 2008 سُمي ألف وأربعة وسبعون (1074) نوعاً من الديناصورات.

بعض هذه الديناصورات عاشت وبعضها الآخر لاحم، كما أن بعضها ثنائي القدم، وبعضها رباعي القدم، وبعضٌ ثالث كالأموصور والإغواندون كان يمشي على قدمين وعلى أربع أقدام بسهولة. كان لبعضها درع عظمي، أو تعديلات جمجمية كالقرون. وبالرغم من أنها تعرف بحجمها الهائل، فإن كثيراً من الديناصورات كانت بحجم الإنسان أو أصغر. وُجدت بقايا الديناصورات في كل القارات الأرضية، بما فيها القارة القطبية.

كما ولا تُعرف ديناصورات عاشت في بيئة مائية أو هوائية برغم أن الثيرابودات المريشة يُمكن أن تكون طائفة.

أما عن الخصائص المميزة فبالرغم من أن الاكتشافات الحديثة صعبت تقديم قائمة متفق عليها بخصائص الديناصورات المظهرية المميزة، إلا أن كل الديناصورات المكتشفة حتى الآن تتشاطر تحورات معينة طرأت على هيكل الأركوصورات العظمي الأصلي.

ومع أن بعض مجموعات الديناصورات اللاحقة احتوت تحوراتٍ إضافية، فإن التحورات الأساسية تعتبر نمطية في الديناصورات، حيث احتوت عليها الديناصورات المبكرة ونقلتها إلى كل المتحدرين منها.

كما وأنَّ صفات الديناصورات المشتركة تتضمن عرفاً مستطيلاً على العضد أو عظم الذراع العلوي لتحمل عضلات الكتف والساعد، بالإضافة إلى رف في مؤخرة عظم الورك، وحافة عريضة منخفضة قرب المؤخرة، وعظام كاحل مدعمة لتحمل الأطراف السفلية.

تحدثت الآن بشكلٍ عام عن الديناصورات وبالتأكيد لم نفهم ما المختلف في كل نوع وما شكل وصفات كل ديناصور مختلف، دعونا الآن نتحدث عن كل الأنواع ونقرأ باستمتاع...

فلنبدأ بهم بالترتيب:

1- الألوصور Allosaurus: يعد من أضخم الديناصورات أكلة اللحوم، التي ظهرت على وجه كوكب الأرض. وقد عاش منذ نحو 145 مليون عام، واكتشفت هياكله العظمية المتحجرة في الولايات المتحدة الأمريكية وأوروبا وأفريقيا وأستراليا.

ويتميز هذا الديناصور برأسه الجبار الذي وصل طوله إلى نحو المتر، وبروزين من العظام على جانبي عينيه، وآخرين أصغر فوق أنفه وعلى قمة رأسه، كما كانت أصابع يديه الصغيرتين، تنتهي بمخالب حادة يبلغ طول كل منها نحو 15 سنتيمتر. كان الألوصور يسير على قدميه القويتين العضليتين، وبلغ طول

جسمه نحو 12 مترا وارتفاعه حوالي خمسة أمتار ووصل وزنه إلى طن ونصف.

أما جمجمة الألوصور فقد كانت عبارة عن دعائم من العظام وبروزات صلبة فوق الرأس، وقد بلغ طولها نحو مترين ونصف، ولكنها كانت خفيفة الوزن بسبب وجود العديد من الفتحات بين عظامها. وكان يمكن لهذا الديناصور أن يفتح فكيه القويتين إلى اتساع كبير، لوجود أنسجة مرنة في نهايتيهما، حتى يتمكن من قضم وابتلاع أضخم كمية من اللحم. وكان الألوصور يعيش داخل قطع وليس منفردا.

2- باروصور Barosaurus: يعني اسمه "السحلية الضخمة"، وهو ديناصور أكل النباتات عاش في أواخر العصر الجوراسي منذ حوالي 150 مليون سنة، يبلغ طول هذا الديناصور حوالي 20 متر، ويبلغ ارتفاعه 6 أمتار ويزن حوالي 10 أطنان. يتميز هذا الديناصور أنه يمتلك أطول رقبة (8 أمتار تقريبا) التي كانت تحميه من أي هجوم يتعرض له، فلم يكن أحد الديناصورات قادرا على إلحاق الأذى به بسبب رقبته الطويلة التي كان يستطيع تحريكها بحرية للدفاع عن نفسه. عاش هذا الديناصور في أفريقيا وغرب الولايات المتحدة الأمريكية.

3- بتيرانودون Pteranodon: هو ديناصور طائر من فئة بتيروصوريا، عاش في أواخر العصر الطباشيري منذ حوالي 89 مليون سنة. يتميز هذا الديناصور بوجود ما يشبه المطرقة بمؤخرة رأسه، وجناحيه الذي يبلغ طولهما عند نشرهما حوالي 9 أمتار. يقضي البتيرانودون الكثير من وقته فوق المحيط (الأماكن الساحلية) للبحث عن الأسماك التي كان يتغذى عليها بفمه الطويل

والذي لا أسنان فيه. يبلغ طول جسمه 10 أمتار وكان وزنه من 20 إلى 25 باوند.

4- تريسيراتوبس Triceratops: يعني اسمه ثلاثي القرون، وهو ديناصور يعيش في الغابات ويتغذى على النباتات. عاش منذ نحو 68 مليون سنة في العصر الطباشيري، وسمي بذلك لوجود ثلاثة قرون تبرز من رأسه، أحدهما قصير ويوجد عند أنفه أما الآخران فطويلان ويقعان أعلى عينيه، ويبلغ طول كل منهما حوالي متر، وكذلك كان يوجد طوق ضخم وعريض من العظام المكسوة بالجلد السميك خلف رأسه، بالإضافة إلى ما يشبه منقار كبير لبغاء فوق فمه. كان يبلغ حوالي 9 أمتار (30 قدما)، ويزن حوالي 5.400 كغ (12,000 رطلا). وقد وجدت الهياكل العظمية المتحجرة لهذا الديناصور في غرب الولايات المتحدة الأمريكية وكندا.

5- التيرانوصور: (Tyrannosaurus) وتختصر T.rex، وهو ديناصور ضخم من أقوى وأشرس الديناصورات الآكلة للحوم، عاش منذ ما يقارب من خمسة وسبعين مليون سنة، في الغابات القريبة من الأنهار وفي المناطق الساحلية الرطبة، خاصة المستنقعات. وكان له فكان غاية في القوة تحيط بها عضلات بالغة الشدة، ويبلغ طول كل فك أكثر من متر.

كما كانت له من خمسين إلى ستين سنا سميكة ومخروطية الشكل وحادة. قادرة على طحن عظام الفرائس. وكان يصل طول السن الواحدة إلى أكثر من ثلاثين سنتيمتر. وكان يمكن للتيرانوصور أن يلتهم 230 كيلوجراما من اللحم والعظام في قضة واحدة.

اكتشفت جثث متحجرة لهذا الديناصور، واتضح أن جلده السميك يشبه جلد التمساح. كما وجدت هياكل عظمية متحجرة للثيرانوصور في غرب الولايات المتحدة الأمريكية وكندا وكذلك في منغوليا (آسيا). وكان طول هذا الديناصور نحو 12 متر وارتفاعه ستة أمتار، أما ذراعه فكانتا صغيرتين لا يزيد طول الواحدة منهما عن متر، ووصل وزنه إلى سبعة أطنان.

كان الثيرانوصور يتغذى على الديناصورات الكبيرة مثل التريسيراتبس، التي كان يطاردها بسرعة تبلغ حوالي خمسة وثلاثين كيلومترا في الساعة، ويتغلب عليها بواسطة مخالبه وأسنانه الرهيبة.

6- الثيروبودات Theropods : (قدم الوحش) مجموعة من الديناصورات السوريشية ثنائية القدم. وبالرغم من أن معظمها ديناصورات لاحمة، إلا أن عدداً من عائلات الثيروبودات صارت عاشبة خلال العصر الطباشيري. ظهرت الثيروبودات للمرة الأولى في أواخر العصر الثلاثي قبل حوالي مائتين وعشرين (220) مليون سنة، وكانت اللواحم الأرضية الوحيدة منذ أوائل العصر الجوراسي وحتى ختام العصر الطباشيري قبل خمسة وستين (65) مليون سنة. تمثل الطيور اليوم السلالات المتحدرة من الثيروبودات، والتي تطورت منذ نهاية العصر الجوراسي من ديناصورات الكويلورصورات الصغيرة.

7- ديبلودوكس Diplodocus : هو ديناصور ضخم آكل النباتات عاش في العصر الجوراسي في أمريكا الشمالية منذ حوالي 150 مليون سنة، يبلغ طوله 26 متر، ووزنه 10000 كجم

8- دينونيتشوس Deinonychus: هو ديناصور من أكلة اللحوم، عاش في بداية العصر الطباشيري منذ حوالي 121 مليون سنة في شمال غرب الولايات المتحدة الأمريكية، يبلغ طول هذا الديناصور حوالي 3 أمتار، ويبلغ ارتفاعه 1.2 متر، ويزن حوالي 50 كيلوجرام. يتميز هذا الديناصور بأن له مخالب متعلق موجود في كلتا قدميه، وقد استخدم هذا المخالب لطعن وتمزيق لحوم ضحاياه من الديناصورات مثل التينونتوصور والبسيتاكوصور.

9- سبينوصورك Spinosaurus: اسمه يعني "السحلية الشائكة" هو ديناصور ضخم من أكلة اللحوم ذو فك قوي وأسنان حادة ضخمة يقتات على الديناصورات والأسماك الكبيرة. يصل طوله إلى 18 متر ويزن 4 أطنان. كان يوجد تسلسل من الأشواك العظمية على ظهره يصل طولها إلى 6 أقدام أي ما يعادل 1.8 متر مرتبة على شكل شراع، وهذا الترتيب الشراعي يساعده على تنظيم درجة حرارة جسمه أو لإخافة الأعداء. عاش في الصحراء الكبرى منذ حوالي 95 مليون سنة في العصر الطباشيري. وقد اكتشفت أول عظام لهذا الديناصور في مصر عام 1912. ثم اكتشفت عظامه في المغرب إلا أن أعداده كانت محدودة وغير كاملة. ظهر هذا الديناصور في السينما في فيلم جوراسيك بارك 3.

10- ستيغوصور "ستيغوسوريس" (Stegosaurus): هو ديناصور آكل النباتات عاش منذ حوالي 145 إلى 155 مليون سنة في أمريكا الشمالية في العصر الجوراسي، يبلغ طوله حوالي 8 إلى 16 متر ويزن حوالي 4 - 7 طن، يتميز هذا الديناصور بأن له رأس صغير، وله حراشف فوق ظهره وفي آخر

ذيله أشواك تشبه الرماح ويمثل هذا درعا بالنسبة له خصوصا أنه عاش مع ديناصورات من أكلة اللحوم مثل الألوصور والكيراتوصور.

11- كاركارودونتوسوريس Carcharodontosaurus: هو ديناصور عملاق من أكلة اللحوم عاش في العصر الطباشيري منذ حوالي 93 مليون سنة. وكان يبلغ حوالي 12 متر ويبلغ وزنه حوالي أربعة أطنان. عثر على هيكل عظمي لهذا الديناصور في شمال أفريقيا. اسمه يعني "القرش الأبيض الضخم السحالي".

12- كارتوتوريس Carnotaurus: هو ديناصور من أكلة اللحوم، عاش في العصر الطباشيري في أمريكا الجنوبية منذ حوالي 105 مليون سنة. يبلغ طوله 7.5 متر ويزن حوالي طن واحد. يتميز هذا الديناصور بوجود قرنين صغيرين فوق عينيه كان يستعملها في القتال، ويتميز أيضا بيديه الصغيرتين التي تعد الأصغر بين جميع الديناصورات الآكلة للحوم. ويسمى هذا الديناصور بالثور اللاحم.

13- كامراسوريس Camarasaurus: هو ديناصور آكل النباتات عاش في العصر الجوراسي في غرب الولايات المتحدة الأمريكية وشمال غرب المكسيك منذ حوالي 155 مليون سنة، يبلغ طوله 18 متر ويزن حوالي 18 طن، يتميز هذا الديناصور أن له رقبة طويلة وذيل قصير نسبيا، ورأس كبير جدا كما أن له أسنان كبيرة، وقد لقب هذا الديناصور بـ "السحلية ذات الرقبة المحفورة" بسبب الفراغات المجوفة في فقرات رقبته.

وهناك أربعة أنواع من الكامراسوريس:

C. grandis ✓

C. lentus ✓

C. lewisi ✓

C. supremus ✓

14- كويلوفيسس (Coelophys) : هو ديناصور صغير سريع الجري من أكلة اللحوم عاش منذ حوالي 215 مليون سنة في منتصف العصر الترياسي. أحد أجداده كان ديناصور ضخيم يسمى " Dilophosaurus "

التطور

ارتبط تطور الديناصورات بعد نهاية العصر الثلاثي بتطور النباتات وبزحل القارّات، ففي أواخر ذاك العصر وعند بداية العصر الجوراسي، كانت جميع قارّات العالم متصلة ببعضها البعض وتُشكل قارة عظمى تُعرف باسم قارة "بانجيا"، وكانت جمهرة الديناصورات مكونة بمعظمها من اللواحم الحلقية وطويلات العنق الأولية العاشبة، كذلك سيطرت على الأرض غابات من الأشجار عارية البذور، وبشكل خاص الصنوبريات، التي شكلت غذاءً بارزاً للعواشب. افتقدت طويلات العنق الأولية إلى الآليات المعقدة اللازمة في الفم لمعالجة أوراق الصنوبريات الإبريّة، لذا كانت تبتلعه كاملاً، ويُحتمل أن تكون قد امتلكت بعض الخاصيّات الأخرى في قناتها الهضميّة لتجزئة الطعام وتكسيّره إلى العناصر الغذائيّة اللازمة لبقائها. استمرت الديناصورات متجانسة ومتماثلة طيلة أواسط وحتى أواخر العصر الجوراسي، حيث كانت المفترسات من

السيراتوصوريات والسبينوصوريات والكارنوصوريات تنتشر في مختلف المناطق، إلى جانب عواشب ضخمة ممثلة بالديناصورات المغطاة أو الستيجوصوريات وطويلات العنق أو الصوروبوديات. ومن الأماكن التي تُظهر هذا التجانس في أنواع وأجناس ديناصوراتها على الرغم من بعدها عن بعضها حالياً: تكوين موريسون في ولاية كولورادو في الولايات المتحدة، وتكوين تنداجورو في تنزانيا. وحدها ديناصورات الصين من تلك الحقبة تُظهر اختلافاً عن باقي الديناصورات التي عاصرتها، حيث كان منها لواحم ثيروبودية متخصصة في أنواع معينة فقط من الطرائد، وطويلات عنق لا نمطية مثل ديناصور مامنتشي مامنتشيسور. أخذت الديناصورات المنصهرة، أو الأنكيلوصوريات، تصبح أكثر شيوعاً خلال أواخر العصر الجوارسي، وكذلك الحال بالنسبة للديناصورات طيرية الورك، وبحلول ذلك الوقت كانت طويلات العنق الأولية قد انقرضت، وأصبحت الصنوبريات والسراخس أكثر النباتات انتشاراً. كانت طويلات العنق غير قادرة على معالجة الطعام في فمها كما كان حال أسلافها، إلا أن الديناصورات طيرية الورك كانت قد طوّرت مقدرةً على تقطيع الطعام ومضغه في فمها قبل أن تبتلعه، وذلك عن طريق ظهور أفكاك متحركة لها، لكن لعلّ أبرز حدث تطوريّ وقع خلال العصر الجوراسي هو ظهور الطيور الحقيقية، التي تطورت من اللواحم الحلقية.

أخذت الديناصورات تتفرع لأشكال أكثر تنوعاً خلال أوائل العصر الطباشيري بسبب تفكك قارة بانجيا وانعزال المزيد من الجمهرات عن مثيلتها. كانت الديناصورات المنصهرة إلى جانب ذوات الأسنان الإغوانية والديناصورات

الذراعية أو البراكايوصوريات، هي أول المجموعات التي انتشرت خلال فجر هذا العهد وتوزعت في مختلف أنحاء أوروبا وأمريكا الشمالية وشمال أفريقيا، وفي وقت لاحق استبدلت اللواحم الجوارسية الأفريقية بلواحم أوائل العصر الطباشيري العملاقة، مثل السبينوصور والكاركارادونتوصور، وورثت أجناس جديدة من طويلات العنق مواطن الصوروبودات الجوارسية، ومن هذه الأجناس: الريباكيسور والتياتانوصور، التي عاشت في أمريكا الجنوبية إلى جانب أفريقيا. ظهرت في آسيا خلال هذه الفترة فصائل وفيالق جديدة من اللواحم الحلقية، لعل أبرزها هو الديناصورات السريعة أو الدروميوصوريات، المعروفة أكثر باسم "الكواسر"، كذلك ظهرت الترودونيات وكواسر البيض أو الأوفيرابتورات، وأصبحت هذه مجتمعةً تُشكل مجموعة اللواحم الأساسية. أيضًا انتشرت الأنكيلوصوريات وبرزت ذوات قرون بدائية مثل الديناصور الببغائي سيتكوصور، وأصبحت إحدى أبرز العواشب. تُظهر المستحاثات أن الديناصورات المغطاة اختفت من على وجه الأرض خلال أواخر الدور الأول من العصر الطباشيري أو خلال أوائل الدور الأخير منه، كذلك يتبين أن النباتات المزهرة كانت قد نشأت وبدأت بالانتشار على نطاق شديد الضيق. طوّرت فصائل عديدة من الديناصورات وسائل مختلفة لمعالجة الطعام قبل ابتلاعه خلال أوائل العصر الطباشيري، فذوات القرون مثلاً طوّرت المقدرة على تقطيع النباتات بأسنانها المكدسة في صفوف، وطوّرت ذوات الأسنان الإغوانية المقدرة على طحن النبات بأسنانها، وتفوّقت في هذا المجال بطيّة المنقار. ظهرت لدى بعض طويلات العنق صفوف من الأسنان خلال هذا العصر أيضًا، ومن أبرز الأمثلة على ذلك ديناصور النيجير نيجيرصور.

سيطرت 3 فصائل كبرى من الديناصورات على مناطق مختلفة من العالم خلال أواخر العصر الطباشيري، ففي قارة "لوراسيا"، التي تكونت من أمريكا الشمالية وآسيا، كانت الديناصورات الطغاة أو التيرانوصوريات بالإضافة لعدة أنواع من الكواسر ذات الأيدي السالبة هي الضواري الثيروبودية السائدة، وعاشت إلى جانبها مجموعة كبيرة من العواشب طيرية الحوض تمثلت ببطيّة المنقار وذوات القرون والديناصورات المنصهرة وسميكة الرأس. أما في القارة الجنوبية أو قارة "غندوانا" فكانت الديناصورات الأبيليّة أو الأبيليصورات هي الثيروبودات المهيمنة، وكانت التيتانوصوريات هي أكثر العواشب انتشارًا. كذلك عاشت الدروميوصوريات إلى جانب فصائل مختلفة من ذوات الأسنان الإغوانية والأنكيلوصوريات والتيتانوصوريات في أماكن مختلفة من أوروبا. كانت النباتات المزهرة قد أصبحت واسعة الانتشار بحلول هذه الفترة من الزمن، وأخذت الأعشاب البدائية بالظهور في نهاية العصر الطباشيري، وكنتيجة لهذا التنوع في الغطاء النباتي، ازدهرت بطيّة المنقار وذوات القرون وظهرت منها أنواع مختلفة في جميع أنحاء أمريكا الشمالية وآسيا، وبطبيعة الحال ظهرت أنواع جديدة من اللواحم الثيروبودية لتغتنم هذا التنوع في الطرائد، وإلى جانبها ظهرت ديناصورات قارّة فريدة من نوعها، مثل الديناصورات البليدة والديناصورات النعاميّة المعروفة أيضًا باسم "الديناصورات محاكية الطيور".

اندثرت الديناصورات من على وجه الأرض بعد وقوع حدث انقراض العصر الطباشيري-الثلاثي، منذ حوالي 65 مليون سنة في نهاية العصر الطباشيري، ولم ينج منها أي نوع أو أصنوفة سوى الطيور. كذلك نجت بعض الزواحف

الأخرى ذات الجماجم القنطريّة، مثل التماسحيات، السحالي، الأفاعي، السحالي شبيهة الزواحف، وشبيهات الغريال.

الإنقراض

اظهرت دراسة اعدّها علماء جيولوجيا اميركيون ان انقراض الديناصورات وانواع حية اخرى قبل 66 مليون عام لم يكن فقط بسبب ارتطام نيزك كبير بكوكب الارض، بل ايضا بسبب الانبعاثات البركانية التي تلت ذلك.

فقد تبين من خلال دراسات جديدة للنشاط البركاني في ما يشكل اليوم الهند ان ارتفاعا كبيرا في النشاط البركاني حصل في هضبة ديكان في الاعوام الخمسين الفا التي تلت ارتطام النيزك.

ومنذ 35 عاما، كان جمهور العلماء يميلون الى مقولة ان انقراض الديناصورات وانواع حية اخرى في نهاية ما يعرف بالعصر الطباشيري سببه ارتطام نيزك اسفر عن حفرة قطرها 180 كيلومترا في المكسيك، وانبعاث الغبار في الجو الذي سبب انقلابا في المناخ.

لكن عددا من علماء الجيولوجيا كانوا يتحدثون عن انبعاثات بركانية هائلة في الهند وقعت بعد ارتطام النيزك، وانها هي التي ادت الى الاندثار الكبير للانواع الحية اكثر بكثير مما كان لحادث الارتطام نفسه التأثير في ذلك.

اما الدراسة الاخيرة، فيبدو انها توفق بين هاتين الفرضيتين.

فبحسب معديها، غطت الانبعاثات البركانية السامة كوكب الارض وغيرت مناخه وقضت على انواع حيوانية ونباتية كثيرة.

وقال بول ريني استاذ علم الجيولوجيا في جامعة بيركلي في كاليفورنيا والمشرف على الدراسة "استنادا الى تأريخنا لحمم البراكين في هضبة ديكان، تثبتنا من ان ارتطام النيزك وانطلاق النشاط البركاني وقعا في زمن واحد يمتد على خمسين الف عام".

واضاف "لذلك يصعب الفصل بين هذين الحدثين ودورهما في ظاهرة الانقراض، لان اثار كل من الحدثين كانت قائمة في وقت واحد".

وبحسب علماء الجيوفيزياء، فان "ارتطام النيزك ادى الى تغيير تكوين المواد البركانية ووتيرة ثوران البراكين التي امتدت لوقت طويل".

وادى ذلك الى تأخير ظهور الانواع الحيوانية والنباتية الجديدة لمدة نصف مليون عام، بحسب ما يبينه غياب المتحجرات العائدة لتلك الحقبة.

وقال بول ريني "تطلب الامر نصف مليون عام حتى تستعيد المحيطات تنوعها البيئي بعد المدة التي تصاعدت فيها وتيرة ثوران البراكين".

واضاف "الفرضية التي نميل اليها والتي تقول ان ارتطام النيزك ادى الى تنشيط ثوران البراكين، يمكن ان تفسر ترابط ظاهرتين كان تزامنها يعتقد بانه محض صدفة".

وفي حال الاعتقاد بان ارتطام النيزك كان السبب في ثوران البراكين، فان ذلك يودي بفرضية ان يكون زلزال قد تسبب بذلك النشاط البركاني المدمر.

وللتوسع في هذه الابحاث، جمع العلماء في العام 2014 عينات من الحمم البركانية في هضبة ديكان شرق بومباي. وتعود هذه الحمم الى بداية عصر انقراض الديناصورات، وعلى مدى مئات الالاف من السنوات، وفي اواخره.

واستخدمت لهذه الغاية تقنية التأريخ الاشعاعية العالية الدقة لنظائر مشعة من غاز الارغون.

الفصل الثالث

المعادن والصخور

المعادن

يختص علم المعادن Mineralogy بدراسة تلك المواد المتجانسة التي توجد في الطبيعة وتتكون بواسطتها مثل الألماس والذهب والتي نعرفها باسم المعادن. لقد استرعت المعادن انتباه الإنسان منذ قديم الزمان، حيث ساهمت في بناء حضارته المتطورة بصورة أو بأخرى. إننا نجد في آثار قدماء المصريين (منذ 5000 سنة) ما يدلنا على أنهم فتحوا مناجم الذهب حيث استخلصوا هذا المعدن النفيس من العروق الحاملة له. ويوجد في الصحراء الشرقية بجمهورية مصر العربية أكثر من 40 منجماً فتحها القدماء واستخرجوا منها الذهب الذي صنعوا منه التماثيل والحلي. وكذلك استعملوا مغرة الحديد الحمراء (معدن الهيماتيت) في طلاء مقابرهم، كما استخلصوا النحاس من معادن النحاس الخضراء والزرقاء التي استرعت إنتباههم في شبه جزيرة سيناء (حيث يوجد بقايا أول فرن في العام لصهر خامات النحاس)، ومن النحاس صنعوا الأدوات المختلفة. ولم يقف القدماء عند هذا الحد، بل ساحوا في الصحراء بحثاً وراء الأحجار الكريمة، وهي معادن نادرة جذابة (منها الأخضر مثل الزمرد والملاكييت والفيروز والابيرز) واستعملوها في صناعة عقودهم وزينتهم، ومنذ ذلك التاريخ والمعادن تسهم بنصيب كبير في نمو الحضارة، حتى أن كل عصر كان يعرف باسم المعدن الشائع فيه، فكان عصر الحديد وعصر النحاس، حتى عصرنا الحاضر. عصر الذرة، حيث يستخلص الإنسان عنصر اليورانيوم من معادن اليورانيوم المختلفة ليستعمله في إنتاج الطاقة الذرية. وبالرغم من إعتماـد الإنسان منذ القدم إعتـماداً كلياً على المعادن في صناعة أسلحته، ووسائل راحته، وزينته، وعموماً في

ضرورياته، فإنه من المدهش حقاً أن نجد عدداً كبيراً من الناس لديهم فقط فكرة غير واضحة عن طبيعة المعادن، وأن هناك علماً متخصصاً في دراستها ومتعمقاً في أبحاثها.

إن صخور الجبال، ورمال الشاطئ، وتربة الحديقة يتكون معظمها أو جزء كبير منها من المعادن. كذلك فإن جميع المنتجات التجارية غير العضوية التي نتناولها في حياتنا اليومية، إما أن تكون عبارة عن معادن أو صنعت من مواد معدنية، فمواد البناء، والصلب والأسمنت، والزجاج - على سبيل المثال لا الحصر - نحصل عليهم من المعادن.

علم المعادن عند العرب

يعتبر ابن سينا (هو أبو علي الحسين بن عبد الله بن سينا المتوفى عام 428 هجرية ؟ 1049 ميلادية) وهو المؤسس الرئيسي لعلم الأرض (الجيولوجيا) أول من درس المعادن دراسة علمية فقد قسمها إلى أقسام أربعة هي: الأحجار والذئبات والكباريت (أو الكبريتيدات) والأملاح (أو المتبخرات). ويأتي بعده العالم العبقرى العربى البيروني (هو أبو الريحان محمد بن أحمد البيروني المتوفى بغزنة بالهند عام 440 هجرية ؟ 1061 ميلادية) ويعتبر كتابه "الجماهر في معرفة الجواهر، أروع ما كتبه العرب في علم المعادن، فبالإضافة إلى العدد الكبير من المعادن والأحجار الكريمة والفلزات التي وصفها العالم الفذ، فإن البيروني فرق بين المعادن والفلزات. ويأتي بعد البيروني العالم التفاضلي (هو شهاب الدين أبو العباسي أحمد بن يوسف التيفاشي القيسي المتوفى بالقاهرة عام 651 هجرية ؟ 1271 ميلادية) الذي نهج منهاجاً علمياً في وصف المعادن

والأحجار الكريمة في كتابه "أزهار الأفكار في جواهر الأجار" فوصف كل معدن وحجر كريم بالنسبة لجيده ودرته، خواصه ومنافعه، قيمته وثمانه، ثم تكون الحجر من المعادن. ويأتي بعده ابن الأكفاني (هو محمد بن ابراهيم بن ساعد السنجاري المعروف بابن الأكفاني المتوفى بالقاهرة عام 7469 هجرية/1369 ميلادية) الذي ألف كتاب "نخب الذخائر في أحوال الجواهر" وقدم فيه وصفا لاربعة عشر حجرا من الأحجار الكريمة والمعادن.

إن العرب في الحقيقة هم أول من درسوا المعادن دراسة علمية، قدموا في مؤلفاتهم الأسس العلمية الأولية لعلم المعادن. لقد وصفوا المعادن بالنسبة لخواصها البلورية وخواصها الطبيعية (اللون، الشفافية، المخدش أو المحك) والوزن النوعي (الثقل النوعي) والاختبارات الكيميائية ونشأة المعادن وأسمائها.

علاقة علم المعادن بالعلوم الطبيعية الأخرى

عموما يمكننا أن نرتب العلوم التي في الموضوعات الطبيعية غير العضوية - على أساس أصغر وحدة تختص الدراسات فيها اختصاصا مباشرة - ترتيبا متسلسلا. فأصغر الوحدات في علم الفيزياء هي الاليكترون والنيوترون وغيرهما. أما بالنسبة للكيميائي فأصغر وحدة يهتم بها مباشرة هي الذرة، وهو يهتم بالاليكترونات فقط عندما تؤثر على الذرات. وبطريقة مشابهة يهتم علم المعادن بصفة أساسية بالوحدة البنائية (خلية الوحدة) وهي تمثل أصغر مجموعة من الذرات (أو الأيونات) التي تبين البناء الكامل لبلورة المعدن، وخو يخص الذرات باهتمامه فقط عندما يؤدي ترتيبها في صور متباينة إلى تكوين أنواع مختلفة من البلورات والمعادن. ويعتبر الصخر (الذي يتكون من جمع من المعادن) أصغر

وحدة يهتم بها الجيولوجي إهتماما مباشرا. وعندما يهتم بالمعادن فإن ذلك ينصب على مدى ما نسبته المعادن من تغيير في طبيعة الصخر. أما بالنسبة للفلكي فإن أصغر وحدة في دراساته هي النجم أو الكوكب، مثل كوكب الأرض، التي هي عبارة عن خليط من صخور عدة. وفي هذا الترتيب المتسلسل نجد أن علم المعادن يحتل المكان الأوسط، فوحدة الفلكي أكبر بمراحل من وحدة عالم المعادن، تماما كما تكبر هذه الوحدة الأخيرة إذا قورنت بوحدة الفيزيائي. ولكنها حقيقة أساسية أيضا أن مجالات التخصص في العلوم المختلفة لا تفصلها حدود رأسية، إنما تتخط بعضها بعضا، تخطيا يزداد كلما نمت العلوم وازدادت المعرفة. وعلى سبيل المثال، بدأ علم الفلك بدراسة المجوم والكواكب، ولكنه الآن يضم الأبحاث الطيفية للتعرف على العناصر الموجودة في الشمس وغيرها من النجوم. وكذلك يتخصص عالم المعادن أساسا في دراسة المعادن، ولكن نظرا لأن هذه المعادن توجد في هيئة بلورات، فإنه يكون لزاما عليه - لكي يتفهم طبيعة هذه البلورات - أن يقوم بدراسة الذرات والأيونات وكذلك الإلكترونات ويحيط بها علما.

التركيب الكيميائي للقشرة الأرضية

قام الجيولوجيون بجمع عينات كثيرة لأنواع مختلفة من الصخور ومن مناطق متعددة على سطح الأرض، ثم قاموا بعد ذلك بتحليلها بغية الوصول إلى معرفة تركيبها الكيميائي، ومن هذه التحاليل توصلوا إلى معرفة متوسط التركيب الكيميائي للجزء الخارجي من الغلاف اليابس للكرة الأرضية.

يتضح لنا حقيقتان هامتان: أولاً: أن ثمانية عناصر فقط من بين الاثنين وتسعين عنصراً الموجودة في الطبيعة تكون حوالي 99 في المائة بالوزن من تركيب القشرة الأرضي، وأن بقية العناصر – ومن بينها الذهب والفضة والنحاس والرصاص والزنك – تكون فقط واحد في المائة بالوزن من تركيب القشرة الأرضية.

ثانياً: إن الأكسجين هو أكثر العناصر الثمانية انتشاراً على الإطلاق، ولكن هذا لا يعني أن الأكسجين حر طليق في القشرة الأرضية، ولكنه في الواقع مرتبط ارتباطاً كيميائياً في الصخور المختلفة، وكذلك الحالة بالنسبة للعناصر السبعة الأخرى، فهي لا توجد بحالتها العنصرية في هذه الصخور، ولكنها جميعاً توجد متحدة ومرتبطة بطريقة أو بأخرى لتكون ما يعرف باسم المركبات الكيميائية.

ونحن نعرف من دراستنا الكيميائية أن العناصر سالفة الذكر باستثناء الأكسجين والسليكون هي عبارة عن فلزات، أما السليكون فله ميل نحو الفلزات، ولكن خواصه تدلنا على أنه يقع بين الفلزات واللافلزات.

وتتحد هذه العناصر السبعة مع الأكسجين لتولد الأكاسيد. ويمكن اعتبار الأكسيد وحدة كيميائية أساسية. كما يتضح من ذكر التركيب الكيميائي للقشرة الأرضية في صورة أكاسيد والمعروف أن أكاسيد الفلزات تعطي قواعداً بينما تعطي أكاسيد اللافلزات أحماضاً. ويتفاعل أكسيد السليكون في هذه الأحوال – خصوصاً عندما توجد الأكاسيد الفلزية – كحامض، وتكون النتيجة أن يتحد أكسيد السليكون اتحاداً كيميائياً بالأكاسيد الفلزية (قواعد) ليكون السليكون. فمثلاً

إذا اتحد أكسيد المغنسيوم كيميائياً مع أكسيد السليكون، فإنه ينتج عن ذلك مركب كيميائي يعرف باسم سليكات الماغنسيوم.

$M_2O + MIO_2 = MGSIO_2$ وهذا المركب الناتج هو أحد المركبات التي تتكون بواسطة الطبيعة في جوف الأرض وفي ظروف من الضغط والحرارة مختلفة تماماً عما يحدث على سطح الأرض.

وفي العادة يتحد أكثر من أكسيد فلزي مع أكسيد السليكون لتكوين سليكات ثنائية أو ثلاثية أو أكثر تعقيداً عن ذلك مثل سليكات الألومنيوم والبوتاسيوم.



هذه السليكات وغيرها من المركبات الكيميائية التي توجد في الطبيعة وتكونت بفعل الطبيعة. هي ما نسميها بالمعادن، وهي التي تدخل في تركيب الصخور المختلفة التي تكون القشرة الأرضية والغلاف اليابس فالمركب الكيميائي الأول (سليكات الماغنسيوم) الذي يوجد في الطبيعة يعرف باسم معدن إنتاتيت (Entatitine)، أما المركب الثاني فيعرف باسم أرثوكلاز Orthoclase وهناك بعض العناصر تكون معادن بمفردها، مثل الذهب والنحاس والكبريت والكربون. إن هذه المعادن توجد في الطبيعة مكونة من عنصر واحد فقط، بدلاً من أن تكون مركبات كيميائية، ولذلك فإنها تعرف باسم المعادن العنصرية Native Minirale ومن أمثلتها معادن الذهب والنحاس والكبريت والألماس والجرافيت. وعلى ذلك نجد أن الخاصية الأساسية للمعادن أنها تنتج وتتكون بواسطة الطبيعة، أي أنها منتجات طبيعية وليست صناعية.

ويتميز كل من هذه المعادن سواء أكان مركبا أم عنصرا بأن ذراته المكونة له توجد مرتبة في نظام هندسي، أو بمعنى آخر يتميز المعدن بكونه متبلورا، أي يوجد في هيئة بلورات.

وفي كثير من الأحيان لا يوجد المعدن بمفرده في الطبيعة، ولكنه يوجد مختلطا مع معدن آخر أو أكثر، وينتج عن ذلك مخلوط من عدة معادن. مثل هذا المخلوط الطبيعي من معادن مختلفة هو ما يعرف باسم صخر.

طبيعة المعادن

يمكننا أن ننظر إلى المعادن - بصفة عامة - على أنها المواد التي تتكون منها صخور القشرة الأرضية، وعلى هذا الأساس تعتبر المعادن أهم صلة طبيعية متيسرة بين أيدينا لمعرفة تاريخ الأرض، أو بعبارة أخرى إنها السجل الذي سجلت فيه الحوادث المختلفة لتكون تاريخ الأرض. ويعتبر الجيولوجي المعادن التي يجدها في الصخور والعروق منتجات نهائية لعمليات طبيعية كثيرة ومتشعبة، ووظيفته الأولى هي الكشف وإزاحة الستار عن غوامض هذه العمليات. وأول ما يقوم به جيولوجي المعادن في هذه الوظيفة هو دراسة خواص أنواع المعادن (بلورية، فيزيائية، كيميائية) ونشأتها، وعلاقتها الزمانية والتسلسل الزمني لتكونها أو ما نسميه بالنشأة التتابعية. إن معظم أنواع الصخور تتكون من مخاليط معادن عدة، ولكن قلة من الصخور، مثل الحجر الجيري تتكون أساسا من معدن واحد. والغالبية العظمى من المعادن توجد في الطبيعة مكونة الصخور المختلفة، أما الباقي فيوجد في الطبيعة مكونا العروق ومالئا الفجوات، ومعظم معادن هذا النوع الأخير من الظهور والتواجد في الطبيعة ذو

فائدة اقتصادية، وتعرف هذه المعادن باسم الخامات Ores ، ومنها استخراج الفلزات المختلفة التي تستفيد الحضارة البشرية منها.

وبما أن هدف جيولوجي المعادن هو الوصول إلى الحقائق الفيزيائية والكيميائية والتاريخية للقشرة الأرضية، لذلك كان لفظ "معدن"، والدراسات المعدنية محصورا في المواد التي توجد وتتكون في الطبيعة. فمثلا الصلب والأسمت والزجاج ولو أ،ها مواد ناتجة من وحدات معدنية توجد في الطبيعة، إلا أنه لا تعتبر معادن لأن الإنسان قام بتجهيزها، وكذلك الحال بالنسبة لجوهر صناعية مثل الياقوت، فلو أنها تشابه تماما جوهر الياقوت الطبيعية كيميائيا وفيزيائيا إلا أنه تعتبر معدنا.

ولا يدخل في اختصاص جيولوجي المعادن تلك المواد الناتجة من النشاط الحيواني والنباتي مثل الفحم وزيت البترول والكهرمان الخ، ولو أن هذه المواد توجد طبيعيا في القشرة الأرضية. فالؤلؤ والصدفة ولو أنهما يشبهان تماما معدني الإراجونيت Aragonite ، الكالسيت Calcite ، إلا أنهما لا ينتظمان تحت صنف المعادن. هذا بالنسبة لجيولوجي المعادن. ولكن الجيولوجي الاقتصادي لا يتقيد بهذا التحديد فعندما يتكلم عن الثروات المعدنية لبلد ما فإنه يشمل البترول والفحم وكلاهما منتجات عضوية.

وربما كان أهم تحديد وضعه جيولوجي المعادن عن تعريفه للمعدن هو أن المعدن لابد أن يكون عنصرا أو مركبا كيميائيا، أي لابد أن نكون قادرين على التعبير عن التركيب الكيميائي للمعدن بواسطة قانون كيميائي. وعلى هذا الأساس يستثنى من المعادن جميع المخاليط الطبيعية (الميكانيكية) مهما كانت

متجانسة ومنظمة. ولقد نتج هذا التحديد من الصورة التي يعرفها جيولوجي المعادن عن المواد المتبلورة ألا وهي ذلك الهيكل أو البناء من الذرات والأيونات ومجموعاتها اذي يمتد بصورة منظمة هندسية في كل أنحاء المادة الصلبة المتبلورة. مثل هذه المادة الصلبة المتبلورة لابد أن تخضع لقوانين النسب الثانية والمضاعفة، وكذلك يجب أن تكون المادة في كليتها متعادلة كهربيا. فإذا أحلنا ذرة محل أخرى في هذه المادة الصلبة المتبلورة - وكثيرا ما يحدث هذا في الطبيعة - فإن هذا لا يؤثر أو ينقص من التعريف بل ينطبق على مثل هذه المادة، طالما أن البناء الذري (الهيكل الذري) لم يتغير وطالما أن الحالة الكهربائية متعادلة، ولهذا السبب فإننا نجد المعادن في بعض الأحيان ذات تركيب كيميائي متغير - ولكن في نطاق محدود = وذلك بسبب إحلال ذرة عنصر محل ذرة عنصر آخر في بناء المعدن.

ومن ناحية أخرى نجد أن مادة مثل إمري Emery، توجد في الطبيعة ولها تركيب كيميائي غير عضوي ثابت تقريبا لا ينطبق عليها التعريف أعلاه، وبالتالي لا تعتبر معدنا، لماذا ؟ لأنه يمكن فصل هذه المادة إلى مركبين كيميائيين مختلفين تمام الاختلاف عن بعضهما البعض في خواصهما الفيزيائية والكيميائية هما كوراندوم $\text{Corundum Al}_2\text{O}_3$ ، وماجنيتيت $\text{Magnetite Fe}_3\text{O}_4$

وعلى ذلك نجد أن التركيب الكيميائي للمعدن المكون من عدة عناصر يمكن التعبير عنه بقانون تتحدد فيه العناصر بنسب ثابتة. فمثلا في المعدن الشائع المعروف باسم كوارتز Quartz نجد أن النسبة هي 1 ذرة سليكون إلى 2 ذرة أكسجين، وينتج عنها القانون SiO_2 وكذلك الحالة بالنسبة لمعدن خام الحديد

المعروف باسم هيماتيت Hematite نجد القانون Fe_2O_3 ، يدل على أن النسبة هي 2 ذرة حديد إلى 3 ذرة أكسجين. وهذه النسب ثابتة لا تتغير مهما تغير المكان الذي نجد في الكوارتز أو الهيماتيت. أما المعدن المكون للصخور والمعروف باسم أوليفين Olivine ، فنجد أن قانونه كما تدل عليه التحاليل الكيميائية هو $(\text{Mg}_2\text{Fe})_2\text{SiO}_4$ مثل هذا القانون يدل على أن المغنسيوم والحديد يوجدان في جميع معادن الأوليفين بنسب تختلف من مكان لآخر، ولكن النسبة بين مجموع ذرات المغنسيوم والحديد إلى عدد ذرات السليكون والأكسجين ثابتة. وهذا يعني بالنسبة لجيولوجي المعادن أن ذرات المغنسيوم والحديد حرة في إحلالها محل بعضها البعض في أماكنها المتشابهة في البناء الذري المميز لمعدن الأوليفين. ومثل هذا الاختلاف في التركيب الكيميائي، نتيجة لإحلال ذرة عنصر آخر، لا يتعارض مع قانون النسب الثابتة في المركبات الكيميائية.

وعندما يتكون المعدن وينمو فإن نسب الذرات المكونة له تظل محفوظة، وينتج عن ذلك ترتيب الذرات ترتيباً هندسياً منتظماً في الأبعاد الثلاثة. ويمكننا في الوقت الحاضر التعرف على هذا النظام الذري الداخلي بواسطة طرف فنية أستعمل فيها الأشعة السينية والميكروسكوب. ولكن قبل استعمال هذه الطرق كانت دراسة الأسطح الخارجية للمعدن هي التي تعطينا فكرة عن الترتيب الذري الداخلي، وعندما يكون المعدن حراً في نموه كما يحدث في فجوة واسعة مثلاً، فإن النظام الذري الداخلي يعكس نفسه في الخارج عن طريق السطوح التي تحد المعدن من الخارج وينتج عن ذلك تكوين بلورة المعدن.

وعلى ذلك يمكننا تعريف المعدن بأنه كل مادة صلبة متجانسة تكونت بفعل عوامل طبيعية غير عضوية وله تركيب كيميائي محدود ونظام بلوري مميز.

ولعلم المعادن صلة وثيقة بعلوم الجيولوجيا والفيزيائي والكيمياء، فجيولوجي المعادن يرسم الخرائط الجيولوجية في الحقل ويبين عليها الرواسب المعدنية والظواهر البنائية للقشرة الأرضية، ويجمع العينات من هنا وهناك. ثم يحللها في مختبره، ويجري عليها الطرق المختلفة التي يستعملها الكيميائي والفيزيائي.

ولو أن علم المعادن علم متكامل الوحدات، إلا أنه لغرض الدراسة ومعالجة موضوع المعادن في هذا الكتاب بطريقة سهلة يمكننا تقسيم العلم إلى أفرع البلورات والخواص البلورية للمعادن Crystallography ، والخواص الفيزيائية للمعادن، والخواص الكيميائية للمعادن. ونشأة المعادن وتكونها في الطبيعة سواء أكان ذلك في الرواسب المعدنية المعروفة باسم الخامات أم في أنواع الصخور المختلفة، ثم وصفها وطرق التعرف عليها والتمييز بينها.

البلورات والخواص البلورية للمعادن

علم البلورات هو ذلك العلم الذي يختص بدراسة البلورات والمواد المتبلورة. والمعروف أن المواد المتبلورة توجد في الطبيعة إما في حالة حبيبات منفردة أو مجموعات. ويمكن تعريف البلورة بأنها عبارة عن جسم صلب متجانس يحده أسطح مستوية تكونت بفعل عوامل طبيعية تحت ظروف مناسبة من الضغط والحرارة. والأسطح المستوية التي تحدد البلورة تعرف باسم أوجه البلورات.

والأوجه البلورية في الحقيقة هي تعبير وإظهار للترتيب الذري الداخلي للمادة المتبلورة. والعملية التي تنتج لنا بلورات تعرف باسم عملية التبلور، وهي عملية تحدث أمام أعيننا إذا تبخر ماء البحر أو المحاليل المشبعة، أو برد مصهور ببطء أو تكثف غاز إلى الحالة الصلبة مباشرة. وفي البلاد الباردة يتجمد ماء المطر بسبب انخفاض درجة الحرارة وتتكون بلورات الثلج سداسية الشكل.

فإذا فحصنا أي بلورة منفردة من هذه البلورات الناتج نجد أن التي نمت بحرية دون عائق يحد من حريتها في النمو، لها أسطح مستوية أو أوجه، تكونت طبيعياً أثناء نمو البلورة. أم الأسطح التي نراها مصقولة على قطعة من الزجاج، ومرتبعة في شكل هندسي جميل، وتباع كجواهر مقلدة، فإنها لا نسمي أوجهها بلورية كما أن الزجاج نفسه لا يسمى بلورة، فبالإضافة إلى أن هذه الأسطح المستوية صناعية التكوين، فإن المادة نفسها وهي الزجاج ينقصها البناء الذري الداخلي المرتب.

ويستخدم علم البلورات الآن باستمرار وباطراد مستمر في حل كثير من المشاكل الكيميائية والفيزيائية وفي دراسات وأبحاث التعدين والمواد الحرارية والادوية والدراسات البيولوجية (الحيوية).

ويمكن تقسيم البلورات حسب إستكمال الأوجه البلورية إلى ثلاثة أقسام:

- 1- بلورات كاملة الأوجه وذلك حينما تكون جميع الأوجه البلورية موجودة.
- 2- ناقصة الأوجه، وذلك حينما يكون جزء من الأوجه متكون فقط والباقي غير موجود.

3- عديمة الأوجه، وفي هذه الحالة يكون المادة المتبلورة عبارة عن حبيبات لا يحدها أوجه بلورية، وغالبا ما توجد هذه الحبيبات في هيئة مجموعات.

وتشترك هذه الأنواع الثلاثة (كاملة الأوجه - ناقصة الأوجه - عديمة الأوجه)، في أن لها بناءا ذريا داخليا منتظما. أو بمعنى آخر أن المواد المكونة لها سواء أكانت ذرات أم أيونات.. توجد مرتبة في نظام هندسي. وعلى هذا الأساس يتبين لنا أنه ليس من الضروري بتاتا ان نجد الأوجه البلورية تحداً المادة المتبلورة، إذ أن تكون هذه الأوجه رهن بالظروف المحيطة بالمادة المتبلورة أثناء عملية التبلور. وعلى ذلك فإننا نعرف كل مادة صلبة ذات بناء ذري داخل منظم باسم مادة متبلورة، فإذا كانت هذه المادة المتبلورة ذات أوجه طبيعية مرتبة في نظام هندسي، ويمكن رؤية هذه الأوجه بواسطة العين المجردة، أو عدسة مكبرة، سميت باسم بلورة.

أما إذا كانت المادة ينقصها البناء الذري الداخلي المنتظم فتوصف بأنها مادة غير متبلورة، وتكون المعادن غير المتبلورة في المملكة المعدنية قلة (وتعتبر استثناء وليست قاعدة إذا التزمنا بالتعريف الحرفي للمعدن الذي يتضمن أن المعدة مادة متبلورة)، ومن أمثل المعادن غير المتبلورة الأوبال (Opal $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) والكريزوكولا (Chrysocolla) (سليكات النحاس المائية). ولما كان البناء الذري في مثل هذه المواد غي والمتبولة غير منتظم فإننا نجد أن تركيبها الكيميائي غير ثابت. وبالتالي لا يعبر عنه بقانون كيميائي. فمثلا تتراوح نسبة الماء في معدن الأوبال ما بين 6، 9 بالمائة وقد تصل إلى 20 بالمائة من وزن

المعدن. أما في معدن الكريزوكولا، فإن تركيبه الكيميائي متغير في مدى كبير حيث نجد أن كميات النحاس والماء متغيرة وليست ثابتة.

ومن هذا يتضح لنا أن الفرق بين المادة المتبلورة وغير المتبلورة يكون في البناء الداخلي وإذا كانت الذرات مرتبة في نظام معين فالمادة متبلورة، أما إذا لم تكن كذلك، أي أن الذرات غير مرتبة، فالمادة اذن غير متبلورة. وعندما لا توجد أوجه بلورية، فإنه لا يمكن التفرقة بين المادة المتبلورة وغير المتبلورة إلا بواسطة استعمال الميكروسكوب المستقطب وفي بعض الأحيان الأشعة السينية.

ولكن إذا كانت الأوجه البلورية موجودة، كلها أو بعضها، فإن دراستها تساعدنا كثيرا في التعرف على المعدن، لأن الأوجه البلورية، ما هي إلا تعبير عن البناء الذري الداخلي المميز للمعدن. و"موروفوروجيا البلورات" هو ذلك الفرع من علم البلورات الذي يختص بدراسة الخواص الخارجية للبلورات.

وقبل أن نصف المظهر الخارجي للبلورات بشئ من التفصيل، يجدر بنا أن نشير إشارة سريعة إلى بعض الخواص الهندسية للبناء الذري الداخلي المنتظم للبلورات.

البناء الداخلي للبلورات

تتميز المواد المتبلورة بحقيقة أساسية هي الترتيب المنتظم للذرات والأيونات التي تتكون منها. وعلى ها الأساس يجب أن نتصور البلورة كبنيان يتكون من وحدات غاية في الدقة تتكرر بانتظام في الأبعاد الثلاثة. وأساس البناء البلوري

هو التكرار، الذي يمكن تشبيهه بتكرار رسم معين على ورق الزينة الذي يلصق على الحائط (ولكن مع فارق أنه في هذه الحالة الأخيرة يتكرر في بعدين فقط).

وتترتب هذه الوحدات المتشابهة عن نقاط منتظمة في الأبعاد الثلاثة بطريقة تجعل كل نقطة لها نفس الظروف المحيطة بالنقاط الأخرى، وبتحديد هذا الترتيب بواسطة اتجاهاته الثلاثة والمسافات التي تتكرر عندها النقاط في هذه الاتجاهات. وقد أوضحت المحاولات التي قام بها برافيه عام 1848 أن هناك 14 نمطا فقط لهذه الترتيبات ممكنة هندسيا. وتعرف هذه الترتيبات الفراغية باسم

الترتيبات الفراغية الأربعة عشر لبرافيه. The 14 Barvbi space lattices.

وأبسط وحدات الترتيب الفراغي مجسم متوازي السطوح ويعرف باسم الوحدات الثنائية، ويلاحظ أن بعض هذه الترتيبات الفراغية أو الوحدات الفراغية البدائية تحتوي الواحدة منها على نقطة واحدة (وتفسير ذلك أنه بالرغم من وجود نقاط عند الأركان الثمانية للوحدة البنائية في الترتيب الفراغي البدائي. إلا أنه نظرا لأن كل نقطة من هذه النقاط تكون مشتركة بين ثماني وحدات بنائية متجاورة. فإن ثمن نقطة يتبع الوحدة البنائية الواحدة، وبالتالي تسهم النقاط عند الأركان الثمانية بما يساوي نقطة واحدة بالنسبة للوحدة البنائية الواحدة). وتختلف هذه الوحدات البنائية البدائية عن بعضها البعض في أطوال حدودها (حوافها) والزوايا المحصورة بين هذه الحدود (α, β, γ) ، أما بقية الوحدات البنائية، فلها نقاط إضافية إما عند مراكز جميع الأوجه. وتعرف باسم مركز الأوجه أو عند وجهين متقابلين أو مركزية في الداخل. وفي جميع هذه الحالات تكون الوحدة

البنائية مضاعفة أي تحتوي على أكثر من نقطة 4 نقاط في حالة F ، نقطتان في كل من حالتي C, I.

وتكون الوحدات البنائية المرصوصة في ترتيب الهيكل الغرافي - ترتيب فراغي بدائي P ترتيب فراغي ممرز في الدحل 1 - البلورات التي نمسكها بين أيدينا ونجري عليها الاختبارات ومها هذه الوحدات في الحقيقة إلى ذرات أو مجموعات من الذرات. ففي البلورة كما في المعادن العنصرية (أي التي تتكون من عنصر واحد)، نجد الذرات غير مشحونة، ولكن في معظم الحالات تحمل الذرات شحنات كهربية، وتعرف حينئذ باسم أيونات (تعرف الموجبة منها باسم كاتيونات بينما تعرف السالبة باسم أنيونات). وتتكون معظم المعادن من أيونات أو حشود من الأيونات يضمها إلى بعضها البعض روابط كهربائية نائية عن الشحنات المضادة ونقصد بكلمة بناء البلورة ترتيب الأيونات والمجموعات الأيونية في الفراغ وطبيعة الروابط الكهربائية التي تضم هذه الأيونات إلى بعضها البعض، ومدى قوة هذه الروابط. ويمكن تشبيه الوحدات البنائية (الذرات والأيونات والحشود الأيونية)، بقالب الطوب في بانيان حائط بينما تشبه الروابط الكهربائية بين هذه الوحدات البنائية، بالمونة التي تضم القوالب بعضها إلى بعض.

الخواص الخارجية للبلورات

الأوجه البلورية

قلنا أن البلورة تتميز عن المادة المتبلورة في أنه لها أسطحاً مستوية خارجية تعرف بالأوجه البلورية. ومنجد أن الأوجه البلورية لها علاقة بالنظام الذري

الداخلي. هذه العلاقة نائية من أن هذه الأوجه البلورية تكونت نتيجة لهذا النظام الذري الداخلي، والملاحظ أنه عندما ترتب الذرات نفسها في أي نظام – أثناء نمو المادة المتبلورة. قد يكون هناك عدد معين من السطوح المحتمل تكونها لتحديد البلورة الناتجة وهذا العدد يكون عادة قليلا، وذلك لأن المستويات التي تشمل أكبر عدد من الذرات هي التي تحدد أمكنة الأوجه البلورية. أي أن الأوجه البلورية المحتمل تكونها (وفي المادة هي التي تتكون فعلا)، هي التي تشمل أكبر عدد ممكن من الذرات.

ولما كان البناء الذري الداخلي للمادة المتبلورة ثابت، وأن الأوجه البلورية – كما أسلفنا – لها ارتباط وثيق بنظام ثابت بالنظام الذري الداخلي، فإنه ينتج عن ذلك أن الأوجه البلورية الخارجية لا بد وأن تكون ذات عرقة ثابتة مع بعضها البعض. هذه العلاقة الثابتة بين الأوجه البلورية توجد في الزوايا التي تكونها الأوجه. وهذه الحقيقة تعرف باسم قانون ثبات الزوايا بين الواجهية Law of constancy of interfacial angles.

وينص هذا القانون على أن زاوية الميل بين وجهين بلورين (زاوية بين وجهية) ثابتة في بلورات المادة الواحدة (عند درجة الحرارة الواحدة). أن الوجه أ ح يعمل زاوية مقدارها 45 مع الوجع أب ب في جميع البلورات في هذه المادة ذات النظام الذري المبين (المسافات متساوية بين الذرات في جميع الاتجاهات)، أما الوجه أ د فإنه يعمل زاوية مقدارها 41 33 درجة مع الوجه أ ب، ويعمل الوجه أ ه زاوية مقدارها 34 26 درجة مع الوجه أ ب، أم الوجه أ و فيعمل زاوية مقدارها 26 18 مع الوجه أ ب.

وهذا القانون أساسي ومهم جدا في علم البلورات، فبواسطته يمكن التعرف على كثير من العادن، وذلك إذا قسنا الزوايا بين الوجهين بدقة (بواسطة جهاز يعرف باسم الجونيومتر) إذ أن هذه الزوايا مميزة لكل معدن. ومن أبسط أنواع الجونيومتر النوع الذي يعرف باسم جونيومتر التماس، الذي يستعمل في قياس الزوايا بين الوجهية على البلورات الكبيرة ونتأجه دقيقة إلى حد ما.

ويمكن التعرف على طريقة استعماله ويجب مراعات أن يكون مستوى ذراعي الجونيومتر متعامدا تماما على حرفي البلورة اللذين يحصران بينهما الزاوية بين الوجهية.

كما يجب ألا يغيب عن الذهن أن الزوايا المكملية (الزوايا الداخلة) هي التي تقاس عادة وتدون كقيمة للزوايا بين الوجهية عند دراسة البلور. تسجل الزاوية التي مقدارها 40 درجة وليست الزاوية التي مقدارها 140 درجة.

وأول من لاحظ ثبات الزوايا بين الوجهية هو العالم الدنماركي استينوهام 1669. فعندما قطع مقاطع أفقية في عدد كبير من بلورات الكوارتز، وجد أن الزاوية بين أي وجهين، ولكيونا م1، م2 مثلا، مقدارها ثابت بين جميع الأوجه التي تناظر م1، م2 في المقاطع الأخرى. هذه الزاوية مقدارها 120- درجة مهما اختلفت البلورات في الشكل الخارجي أو الحجم، ومن أي مكان جمعت البلورة.

وتختلف بلورة المعدن الواحد في الطبيعة من ناحية مظهرها. فمنها الصغير ومنها الكبير، ومنها المفلطح ومنها الطويل، إبريا كان أو منشوريا. ولكننا نجد أنه مهما اختلف المظهر فإن الزوايا بين الوجهية ثابتة. فبلورة مكعبة الشكل قد

توجد متساوية الأبعاد أو مقلطحة أو منشورية، أو ابرية لاشكل ولكن في جميع الحالات تبقى الزاوية بين أي وجهين متناظرين ثابتة ومقدارها في هذه الحالة 90 درجة.

ونلاحظ بصفة عامة أن الأوجه البلورية في البلورات الطبيعية (الموجودة في الطبيعة) غير متساوية التكوين. فنجد مثلا أن الأوجه البلورية الثمانية للشكل البلوري المعروف باسم ثماني الأوجه، لا تكون متساوية في شكل مثلثات متساوية الأضلاع ولكن نجد أن هذه الأوجه غير متساوية التكوين، ولكن بالرغم من عدم تساوي الأوجه فإن الزوايا بين الوجهية ثابتة.

ويعرف عدم تساوي الأوجه البلورية للشكل البلوري الواحد باسم اختلاف الأوجه البلورية أو النشوء، وتعرف البلورة في هذه الحالة باسم مختلفة الأوجه البلورية أو مشوهة. والنشوء لا يشير من قيمة الزوايا بن الوجهية بالمرة. وهذا ناتج من أن الأوجه البلورية نفسها ثابتة الميل والاتجاه. لأنها هي الأخرى نتيجة وتعبير للبناء الذري الداخلي المنظم للبلورة إذ تكون الأوجه البلورية موازية للمستويات التي تشمل أكبر عدد ممكن من الذرات. وبما أن الترتيب الذري الداخلي ثابت في جميع بلورات المادة الواحدة، لذلك كانت الأوجه البلورية المتكونة على جميع هذه البلورات ثابتة الإتجاه أيضا، وبالتالي تكون الزوايا بينهما ثابتة.

عناصر التماثل Element of Symmetry

من الظواهر الملحوظة على كثير من البلورات ظاهرة التوزيع المنظم والمرتب للأوجه البلورية. فإننا نجد أن جميع الأوجه البلورية وكذلك الذرات والأيونات المكونة للمادة مرتبة حسب نظام خاص وتنسيق معين يخضع لقواعد معينة معروفة باسم عناصر التماثل. وجوهر التماثل هو التكرار. فنلاحظ أن وجه البلورة مثلا أو أحد أحرفها يتكرر عدة مرات – أي يوجد في أماكن متماثلة عددا من المرات – طبقا لقانون ثابت. ويعتبر التماثل أساسا في دراسة البلورات.

ويمكن تعريف التماثل في بلورة ما بأنه عبارة عن العمليات التي ينتج عنها أن تأخذ مجموعة معينة من الأوجه البلورية نفس المكان الذي تشغله إحداها. والعمليات التماثلية المعروفة هي:

1. دوران حول محور (محور التماثل الدوراني).
2. انعكاس خلال مستوى (مستوى التماثل).
3. انقلاب حول مركز (مركز التماثل).
4. دوران حول محور مصحوبا بانقلاب (محور التماثل الانقلابي).

ويعرف المحور والمستوى باسم عناصر التماثل.

محور التماثل الدوراني Rotation axis of symmetry

وهو عبارة عن الخط الذي يمر بمركز البلورة والذي تدور أو تلف حوله البلورة وينتج عن هذا أن يتكرر وضع البلورة. أي ظهور وجه أو حرف ما مرتين أو

أكثر ومتخذاً في كل مرة وضعها مشابها للموضع الأول خلال دورة كاملة (أي 360 درجة).

ويطلق على المحور اسم ثنائي التماثل أو ثلاثي التماثل أو رباعي التماثل أو سداسي التماثل، حسب عدد المرات التي يظهر فيها الوجه على البلورة في الدورة الكاملة. ففي حالة المحور ثنائي التماثل، يظهر الوجه كل 180 درجة. ويتكرر وضع البلورة مرتين في 360 درجة. وفي حالة المحور ثلاثي التماثل، يظهر الوجه كل 120 درجة، ويتكرر فإن الوجه يظهر كل 90 درجة، ويتكرر وضع البلورة أربع مرات خلال 360 درجة. وفي حالة المحور سداسي التماثل، يظهر الوجه مرة كل 60 درجة، ويتكرر وضع البلورة ست مرات في الدورة الكاملة. ويرمز للمحاور التماثلية بالرموز الآتية: 2، 3، 4، 6.

وقد يتساءل سائل لماذا لا يوجد محور خماسي التماثل أو سباعي التماثل أو أكبر من ذلك؟ والإجابة على ذلك بسيطة إذا علمنا أن الوحدة البنائية ذات التماثل البلوري يجب أن تكون قادرة على التكرار في الفراغ دون أن تترك أي فجوات أو مسافات. فالأشكال الثنائية التماثل وكذلك الثلاثية والرباعية والسداسية تتكرر لمتلاً الفراغ دون أن تترك أي فجوات أو مسافة بينية، بينما تترك الأشكال الخماسية والسباعية والثمانية التماثل مسافات وفجوات (مظلة على الرسم)، وهذا لا يتفق مع الترتيب المنتظم في الفراغ للوحدات البنائية في الأبعاد الثلاثة.

مستوى التماثل Plan of symmetry وهو المستوى الذي يقسم البلورة إلى نصفين متشابهين بحيث إذا وضعنا أحد النصفين أمام مرآة فإن الصورة الناتجة تنطبق

تماما على النصف الآخر للبلورة ورمز لمستوى التماثل برمز "م" (من كلمة مرآة).

مركز التماثل Center of symmetry تحتوي البلورة على لمركز تماثل اذا قابل الخط المار بالمركز من أي نقطة على سطح البلورة نقطة مشابهة لها تماما على الجزء المقابل. أو بمعنى آخر إذا وجد لكل وجه بلوري أو حرف في ناحية من مركز البلورة وجه بلوري مشابه أو حرف في الناحية المقابلة الأخرى من مركز البلورة وعلى مسافة مساوية، فإن هذه البلورة تحتوي على مركز تماثل ويرمز لمركز التماثل بالرمز "ن"، (نقطة لاتماثل الداخلية). والبلورة إما أن تحتوي على مركز تماثل واحد فقط أو لا تحتوي على مركز تماثل بالمرّة.

محور التماثل الانقلابي Inversion axis symmetry يجمع هذا العنصر التماثلي بين محور التماثل الدوراني والانقلابي عبر مركز البلورة. ويجب اتمام العمليتين قبل الحصول على موقع التكرار الجديد. فإذا كان يوجد بالبلورة مركز تماثل فإنه يرمز له عادة برمز محور الانقلاب أحادي التماثل (أ)، إذ أ، هذا يكافئ دوران نقطة على البلورة دوة كاملة (360 درجة) ثم تكرارها بإنقلابها عبر المركز في الجهة المقابلة لهذه لانتقطة على البلورة. وهناك أيضا محاور انقلابية ثنائية وثلاثية، ورباعية وسداسية التماثل. والآن لنتقهم كيف يعمل محور التماثل الانقلابي، وليكن مثلا محور انقلابي رباعي التماثل. في حالة محور الدوران الراعي التماثل نلاحظ أن تكرار أربع نقاط (أو أركان) - تبعد الواحدة منها عن الأخرى 90 درجة - يحدث جميعه إما على الجزء الأعلى من البلورة أو على الجزء الأسفل للبلورة. أما في عملية المحور الانقلابي الرباعي التماثل، فإن

النقاط (أو الأركان الأربع سوف تتكرر أيضا كل 90 درجة، ولكن اثنتين منها توجد أعلى البلورة، بينما توجد النقطتان الأخريان أسفل البلورة، إن عمل مثل هذا المحور الانقلابي التماثل يشمل أربعة دورانات كل 90 درجة، يلي ذلك إذا كانت النقطة الأولى في الجزء الأعلى من البلورة، كانت النقطة الثانية في الجزء الأسفل للبلورة، والثالثة في الجزء الأعلى والرابعة في الجزء الأسفل. ويرمز للمحاور الانقلابية أحادية، وثنائية، وثلاثية، ورباعية وسداسية التماثل بالرموز التالية على التوالي: 1، 2، 3، 4، 6

قانون التماثل Symmetry formula

يمكن كتابة عناصر التماثل في البلورة في هيئة قانون يعرف باسم قانون التماثل الكامل Complete Symmetry formula ، وذلك باستعمال الرموز التماثلية وهي: 2، 3، 4، 6، للمحاور الدورانية الثنائية والثلاثية والرباعية والسداسية التماثل على التوالي و 1، 2، 3، 4، 6 للمحاور الانقلابية الأحادية والثنائية والثلاثية والرباعية والسداسية التماثل على التوالي ن م لمستوى التماثل، ن لمركز التماثل. فإذا وجد محور دوران تماثلي عموديا على مستوى تماثل فإن القانون يكتب هكذا $2/m$ أو $3/m$ ، الخ... حسب درجة المحور التماثل، ويقرأ اثنين على ميم، وثلاثة على ميم، الخ.. أما إذا كان المحور التماثلي يمر في المستوى التماثلي وليس عموديا عليه، فإن القانون يكتب $2/m$ أو $3/m$ ، الخ.. حسب درجة المحور التماثلي. أما في حالة وجود مستويان تماثليان أحدهما عمودي على المحور التماثلي والآخر يمر بالمحور فإن القانون يكتب $2/m$ أو $3/m$ ، الخ. وفي حالة وجود أكثر من محور تماثل واحد أو مستوى تماثل واحد فإن عدد

المحاور أو المستويات يكتب في لاركب الأعلى الشمالي لرمز المحور أو المستوى هكذا 32، م3، 4/م3 أي ثلاثة محاور ثنائية التماثل، ثلاث مستويات تماثلية، ثلاثة محاور رباعية التماثل عمودية على ثلاث مستويات تماثلية، على التوالي (لاحظ أن القانون الأخير لا يعني ثلاثة محاور رباعية التماثل عمودية على مستوى تماثل واحد، إذ أن 4/م تدل على مجموعة غير مجزأة).

الفصائل والمحاور البلورية

الفصائل البلورية Crystallographic systems

تتبع البلورات سبعة أقسام تعرف باسم الفصائل البلورية السبعة، يمكن التعرف عليها على أساس المحاور التماثلية الموجودة كما يلي:

1 - فصيلة المكعب (أو متساوي الأطوال) وتشمل جميع البلورات التي تحتوي على أربعة محاور ثلاثية التماثل.

2- فصيلة السداسي، وتشمل جميع البلورات التي تحتوي على محور واحد سداسي التماثل فقط.

3- فصيلة الرباعي، وتشمل جميع البلورات التي تحتوي على محور رباعي التماثل فقط.

4- فصيلة الثلاثي، وتشمل جميع البلورات التي تحتوي على محور واحد ثلاثي التماثل فقط.

5- فصيلة المعيني القائم، وتشمل جميع البلورات التي تحتوي على ثلاثة محاور ثنائية التماثل.

6- فصيلة الميل الواحد، وتشمل جميع البلورات التي تحتوي على محور واحد ثنائي التماثل فقط.

7- فصيلة الميول الثلاثة، وبلوراتها لا تحتوي على أية محاور تماثلية.

وتضم كل فصيلة من هذه الفصائل السبعة عددا من المجموعات التماثلية، أو ما يعرف باسم النظم البلورية (اثنين في فصيلة الميول الثلاثة، وثلاثة في كل من فصيلتي الميل الواحد والمعيني القائم، خمسة في كل من فصيلتي الثلاثي والمكعب، سبعة في كل من فصيلتي الرباعي والسداسي) وتحتوي على المميزات التماثلية للفصيلة التي تتبعها، فمثلا، قد تحتوي بلورة تابعة لفصيلة الثلاثي على محور دوران ثلاثي التماثل فقط، أو على محور انقلابي ثلاثي التماثل، أو على مجموعة من محور واحد ثلاثي التماثل، وثلاثة محاور ثنائية التماثل، أو ثلاثة مستويات تماثل، أو كليهما. معنى ذلك أن فصيلة الثلاثي تضم خمسة نظم بلورية. وعلى هذا الأساس وجد أن الفصائل البلورية لاسبعة تضم 32 نظاما بلوريا، وفي كل فصيلة يوجد نظام واحد يحتوي على أعلى تماثل بين النظم التابعة لهذه الفصيلة. ويعرف هذا النظام باسم النظام الكامل التماثل.

وسوف نكتفي في مناقشاتنا الحالية بدراسة النظام الكامل التماثل في كل فصيلة بالتفصيل، أما النظم الأقل تماثلا في كل فصيلة فسوف نشير إليها في أول

الحديث عن الفصيلة. ويجدر بنا أن نشير في هذا المقام إلى أن بعض المؤلفين في بعض الدول يعتبرون فصيلة الثلاثي قسما تابعا لفصيلة السداسي، وهذا يعني ستة فصائل بلورية فقط، ولكن العدد الكلي لمجموعات التماثل المختلفة (النظم البلورية) موزعة على هذه الفصائل الستة بعينة نفس العدد (32) الذي يضمه التصنيف إلى سبعة فصائل.

المحاور البلورية Crystallographic axes

المحاور البلورية هي عبارة عن ثلاثة خطوط تصورية أو خيالية، (أربعة في فصيلتي السداسي والثلاثي) والتي يمكن رسمها داخل البلورة بحيث تتقاطع في مركز البلورة (مركز النقل)، وتعمل كخطوط ترجع إليها كلما أردنا وصف مواضع الأوجه البلورية (كل وجه لابد أن يقطع واحدا أو أكثر من هذه المحاور البلورية على مسافة معينة من المراكز).

واتجاهات المحاور البلورية محددة على البلورة بواسطة العناصر التماثلية الموجودة، إذ غالبا ما يكون محور التماثل محورا بلوريا وخصوصا بالنسبة للمحور البلوري الرأسية (ج) الذي يمثل في غالبية الأحوال المحور الأكثر تماثل. وينتج عن تقاطع المحاور البلورية ما يسمى بالتقاطع المحوري Axial cross، ويرمز إلى وحدات المحاور البلورية إذا كانت متساوية بالرموز 111. أما إذا كانت الوحدات التماثلية مختلفة الأطوال فإنه يرمز إليها بالرموز أ، ب، ج، حيث أ هو المحور الممتد من الأمام إلى الخلف (الاتجاه س)، ب المحور الممتد من اليمين إلى اليسار (الاتجاه ص)، ج هو المحور الممتد رأسيا (الاتجاه

ع). ونفرد أطوال هذه المحاول باوسطة استعمال الاشارات الموجبة (+)،
والسالبة (-).

وينتج عن تقاطع هذه المحاول الثلاثة زوايا تعرف باسم الزوايا المحورية، وهي
زاوية ألفا (α) بين بن، ج، وزاوية بيتا (β) بين أ، ج، وزاوية جاما (δ) بين أن،
ب.

وعلى أساس أطوال وحدات المحاور البلورية، والزوايا بين هذه المحاول، يمكننا
لتمييز بين الفصائل البلورية السبعة كما هو مبين في الجدو: اسم الفصيلة
الزوايا بين المحاور طول الوحدة في الاتجاهات δ β α س ص ط (ع الطول
الواحد المكعب 90 90 90 أ أ أ السداسي 120 90 90 أ أ أ ج الطولين الرباعي
90 90 90 أ أ ج الثلاثي $\alpha = \beta = \delta \neq 90$ أ أ أ ج الأطوال الثلاثة المعيني القائم
90 90 90 أ ب ب ج الميل الواحد 90 90 > 90 أ ب ب ج الميول الثلاثية 90 >
90 90 > أ ب ب ج

ويجدر بنا الإشارة في هذا المكان إلى أن المحور البلوري ج هو دائما محور
سداسي التماثل في فصيلة لاسداسي، ورباعي التماثل في فصيلة الرباعي،
وثلاثي التماثل في فصيلة الثلاثي. وتختلف فصيلة الثلاثي عن السداسي،
بجانب الاختلافات السابقة، في أن فصيلة الثلاثي لا تحتوي بلوراتها على
مستوى تمثالي أفقي.

تعليمات بشأن اختيار المحاور البلورية : (في النظم الكاملة التماثل)

فصيلة المكعب: المحاور الرباعية التماثل هي المحاور البلورية.

فصيلة السداسي: المحور السداسي التماثل هو المحور ج، وأطول ثلاثة محاور ثنائية التماثل هي المحاور 1 أ، 1، أ2، أ3.

فصيلة الرباعي: المحور الرباعي التماثل هو المحور ج، وأطول محورين ثنائي التماثل هما، المحورات أ1، أ2.

فصيلة الثلاثي: المحور الثلاثي التماثل هو المحور ج، وأطول ثلاثة محاور ثنائية التماثل هي المحاور أ1، أ2، أ3.

فصيلة المعيني القائم: الثلاثة محاور الثنائية التماثل هي المحاور البلورية، وفي العادة يختار ج أطول من ب، وب أطول من أ.

فصيلة الميل الواحد : المحور الثنائي التماثل هو المحور ب، يختار بعد ذلك المحور ج موازيا لحروف أربعة أوجه متشابهة تماما والتي تعتبر مكونة للشكل المنشوري، وبعد ذلك يختار المحور أ موازيا للسطحين الذين يقطعان أوجه المنشور بزاوية تقرب من القائمة.

فصيلة الميول الثلاثة: ابحث عن ثلاثة أزواج من السطوح المتوازية التي تتقاطع مع بعضها بزوايا تقرب من القائمة والتي تحد الفراغ كعلبة كبريت مشوهة، وتختار المحاور البلورية موازية لهذه الأسطح (كل محور موازي لمجموعتين من هذه المجموعات الثلاث) (كل مجموعة تتكون من سطحين). غالبا يكون ج>ب>أ.

الأوجه البلورية، التقاطعات، الاحداثيات، الأدلة

عندما نريد وصف الأوجه البلورية فإنه يكون لزاما علينا أن نحدد مواضع هذه الأوجه بالنسبة للمحاور البلورية. فالذي يهمنا في الدراسات البلورية هو اتجاه ميل الوجه وليس شكله أو حجمه، وكما سبق أن قلنا إنه ينتج من الاتجاهات الثابتة للأوجه زوايا ثابتة مميزة. تعرف باسم الزوايا بين الوجهية، فكذاك ينتج من اتجاه ميل وجه البلورة أن الوجه قد يقطع المحاور البلورية الثلاثة، أو يقطع محورين ويوزاي الثالث، أو يقطع محورا واحدا ويوزاي الاثنين الآخرين. ويظهر كل تقاطع - بين الوجه والمحور البلوري - على مسافة معينة من مركز البلورة، وتعرف هذه المسافة التي يمكن قياسها بالمليمترات أو السنتيمترات باسم تقاطع الوجه بالمحور اللوري. وعلى هذا نجد أن في البلورات الكبيرة يكون التقاطع أكبر منه في البلورات الصغيرة. لأن قيمة التقاطع في هذه الحالة تتوقف على فرصة البلورة في النمو وعلى ذلك نجد أنه من المستحب ومن الأفضل أن نلجأ إلى طريقة لوصف الأوجه البلورية لا تعتمد بالمرّة على حجم البلورة الذي توجد عليه في الطبيعة مثل هذه الطريقة موجودة، وفيها لا نستعمل المسافة المطلقة من المركز إلى الوجه وإنما المستعمل المسافة النسبية التي تقاس بالنسبة إلى طول الوحدة على كل محور بلوري. هذا يعني أننا لابد أن نختار أولا وجهها بلوريا يقطع جميع المحاور الثلاثة ويحدد ذلك طول اوحدة على كل من هذه المحاور، ويعرف هذا الوجه باسم وجه الوحدة، وبعد ذلك يمكننا أن نعبر عن تقاطعات جميع الأوجه البلورية الأخرى في هيئة نسبة إلى تقاطعات وجه الوحدة.

مثلا في بلورة لمعدن التوباز، فلوروسليكات الألومنيوم، نجد أن تقاطعات وجه الوحدة، أ، ب، ج شكل (32)، هي 1.354 مم، 2.562 مم، 1.242 مم على المحاول أ، ب، ج على التوالي. ولما كانت هذه الوحدات - مقاسة على هذا النحو بالمليمترات - تدل على الحجم، وتتغير تبعا لتغيره، فإننا نتجنب استعمال مثل هذه الوحدات الحجمية. وذلك بأن نقسم كل قيمة من قيم هذه التقاطعات على قيمة التقاطع على المحور ب، وينتج عن ذلك تقاطعات قيمة (بالنسبة إلى ب) بدلا من التقاطعات المطلقة، هكذا $2.562/1.354 = 0.528$ ، $2.562/2.562 = 1.00$ ، $2.562/1.242 = 0.477$

وعلى ذلك يمكننا تعريف التقاطعات النسبية بأنها عبارة عن التقاطعات الناتجة من قسمة كل تقاطع على ب. وفي المثال المذكور تكون التقاطعات النسبية هي 0.528:1:0.477. ولما كانت هذه النسبة هي نسبة طول الوحدات على المحاور البلورية كما حددها وجه الوحدة.

فإنها تعرف أيضا باسم النسبة المحورية (أي نسبة أ:ب:ج = 0.528:1:0.477). وهي نسبة غير متساوية، أي أن بلورة التوباز تتبع إحدى الفصائل التالية، المعيني القائم، أو الميل الواحد، أو الميول الثلاثة. ولكن لما كانت الزوايا المحورية الثلاثة قائمة، فالبلورة إذن تتبع فصيلة المعيني القائم. ونلاحظ في هذه الحالة أن المسافات السابق قياسها للتقاطعات (بالمليمترات) قد تفاديناها باستعمالنا للنسبة التي يكون فيها تقاطع ب يساوي دائما 1 (واحد) (لأننا نقسم دائما المسافات المطلقة على مسافة ب لنتنتج هذه النسبة).

أما احداثيات الوجه البلوري (البارامترات)، فهي عبارة عن رموز تدل على التقاطعات النسبية لهذا الوجه مع المحاور البلورية، أي نسبة التقاطعات النسبية لهذا الوجه إلى التقاطعات النسبية لوجه آخر.

احداثيات الوجه = التقاطعات النسبية لهذا الوجه / التقاطعات النسبية لوجه آخر.

ولما كان وجه الوحدة قد أختير ليقطع المحاور البلورية عند أطوال الوحدة إن احداثياته تكون أ:ب:ج (مفهوم أن الرقم 1 يسبق كل من هذه الحروف لأننا لا نكتب 1أ:1ب:1ج).

هذه الأرقام الأخيرة 1.5: 1ب: 2ج هي احداثيات الوجه الثاني هـ، ب، و، وعندما يكون الوجه البلوري موازيا لأحد المحاور البلورية، أي أنه لا يقطعه فإن الرمز ∞ (مالا نهاية) يستعمل في احداثياته.

الشكل البلوري Crystal form

ويتكون من مجموعة الأوجه البلورية المتشابهة (شكلا وحجما) الموجودة على نموذج البلورة. فمثلا البلورة يوجد بها شكل بلوري واحد فقط، أم البلورة فيوجد بها شكلان بلوريان، أما على البلورة الطبيعية (حيث الأوجه مشوهة) فيتكون الشكل البلوري من جميع الأوجه البلورية التي لها رمز واحد (مجموعة الاحداثيات أو الدليل). وفي هذه الحالة يجب أن ندخل عناصر التماثل في اعتبارنا. أو بعبارة أخرى يتكون الشكل البلوري من مجموعة من الأوجه التي يستلزم وجودها عناصر التماثل في البلورة وذلك إذا وجد على البلورة وجه واحد من هذه الأوجه، فمثلا في بعض الفصائل البلورية ذات التماثل العالي نجد أن (111)، $(\bar{1}11)$

يتبعان شكلا بلوريا واحدا، وفي فصائل أخرى ذات تماثل منخفض نجد أن (111)، $(\bar{1}11)$ لا يتبعان شكلا بلوريا واحدا. ولكن يتبعان شكلين مستقلين. والسبب في ذلك أنه في الحالة الأولى يوجد مستوى تماثل أفقي يعكس الوجه (111)، $(\bar{1}11)$ ، أما في الحالة الثانية فلا يوجد مستوى تماثل أفقي وبذلك لا يرتبط الوجه (111) بالوجه $(\bar{1}11)$ بآية رابطة، ويتبع الوجهان شكلين إثنين.

رمز الشكل: Form symbol

وهو عبارة عن دليل أحد أوجه الشكل البلوري الذي له أبسط علاقة مع المحاور البلورية. ويكتب رمز الوجه بين قوسين صغيرين هكذا () مثل (321)، أما رمز الشكل فيكتب بين قوسي كبيرين هكذا { }، مثل {321}.

الشكل الكامل الأوجه: holohedral form هو المجموعة الكاملة لجميع الأوجه الممكنة على البلورة التي لها نفس الأحداثيات والتي لها أوضاع هندسية متشابهة بالنسبة للمحاور البلورية.

أما شكل نصف الأوجه: Hemihedral form فيتكون من نصف الأوجه التي يتطلبها التماثل التام، ويشترك من الشكل الكامل بأن يترك الأوجه المتبادلة.

الشكل المفتوح: Open form هو الشكل البلوري الذي لا تقفل الأوجه المكونة له الفراغ بمفردها. ومن أمثله الأوجه الأربعة لشكل المنشور.

أما الشكل المقفول: closed form فهو الشكل البلوري الذي تقفل الأوجه المكونة له الفراغ بمفردها. ومن أمثله الأوجه الستة المكونة لشكل المكعب.

مجموعات الأشكال: Combinations of form

في كثير من الحالات نجد أن الأوجه التي تظهر على البلورة لا تنتمي إلى شكل بلوري واحد، بل إلى عدة أشكال، أي أن هذه الأشكال تتكون مرة واحدة على البلورة، وفي هذه الحالة ينتج ما يعرف باسم مجموعات الأشكال.

فصيلة المكعب أو متساوي الطول Cubic or Isometric System

المحاور البلورية

تشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التي لها ثلاث محاور بلورية متساوية ومتعامدة، تمسك البلورة بحيث يكون أحد المحاور الثلاثة عموديا والثاني يمتد من اليمين إلى اليسار والثالث يمتد من اليمين إلى اليسار والثالث يمتد من الأمام إلى الخلفز ولما كانت هذه المحاور الثلاثة متساوية في طول وحداتها متعامدة فإنه لا يمكن تمييز إحداها عن الآخر، ولذلك يرمز لها بالرمز أ.

النظام قانون التماثل الكامل مثال من المعادن سداسي الثماني الأوجه / 34م 3
4 2 6 / 6 2 4م ن فلوريت CaF_2 الأربعة وعشرون وجها خمسا -- 4 3 3 4 2 6 سداسي
الرباعي الأوجه 4 3 3 4م 6 سفاليريت ZnS الإثنا عشر وجها مزدوجا / 2 3م 3
4 ن بيريت FeS_2 رباعي الأوجه ذو الإثنى عشر وجها خمسا 2 2 3 4 كربالتيت
.CoAsS

النظام العادي أو سداسي الثماني الأوجه Norma of Hexoctabedral

التماثل

قانون التماثل الكامل: $4/3 \text{ م} \ 3 \ 4 \ 2 \ 6/4 \text{ م} \ \text{ن}$

المحاور التماثلية: لبورات هذا النظام 13 محورا تماثليا، أشكال (39، 40، 41)

بيانها كالتالي: ثلاثة محاور رباعية التماثل، وهذه تنطبق على المحاور البلورية

أربعة محاور ثلاثية التماثل، وهي تميل على المحاور البلورية

سنة محاور ثنائية التماثل موجودة في المستويات التماثلية المحورية (المستويات

التي تشمل المحاور البلورية) ومنصفة الزوايا التي بين المحاور البلورية

المستويات التماثلية : توجد في هذا النظام تسعة مستويات تماثلية. ثلاثة منها

موازية لمستويات المحاور البلورية بالتالي تكون متعامدة على هذه المحاور،

هذه المستويات التماثلية المحورية، وهي تقسم الفراغ إلى ثمانية أجزاء متساوية

يعرف كل جزء منها بالثمن. أما المستويات الستة الأخرى فإن كلا منها يوجد

موازيا لاحد المحاور البلورية ومنصفا للزاوية التي بين المحورين الآخرين، وعلى

ذلك فهي تقسم الفراغ إلى 24 جزءا متساويا، وتقسم المستويات التماثلية التسعة

مكتملة الفراغ إلى 48 جزءا متساويا.

مركز التماثل: يوجد في هذا النظام مركز تماثلي، وينتج عن ذلك أن يكون لكل

وجه بلوری وجه مقابل موازی له.

الأشكال البلورية:

تسمى الأشكال المكعبة بأسماء خاصة حسب عدد الأوجه التي تكون كل شكل.

ثماني الأوجه: يتكون هذا الشكل البلوري - كما يدل عليه اسمه - من ثمانية أوجه، كل وجه يميل ميلا متساويا على المحاور البلورية الثلاثة، وعلى ذلك تكون احداثياته هي 1:1:1 والدليل {111}. وكل وجه عبارة عن مثلث متساوي الأضلاع.

الإثنا عشر وجها معينا : يتكون من إثني عشر وجها، يقطع كل وجه إثنين من المحاور البلورية على نفس المسافة، ويمتد موازيا للمحور الثالث، وعلى ذلك تكون الاحداثيات أ:أ:∞، والدليل هو {011}. وعندما يكون هذا الشكل نموذجيا نجد أن كل وجه عبارة عن معين متساوي الأضلاع، وتتم المحاور البلورية بالزوايا المكونة من أربعة أوجه، أما المحاور الثلاثية فتتم بالزوايا الناتجة من تقابل ثلاثة أوجه، تصل المحاور ثمانية التماثل بين مراكز الأوجه المتقابلة.

سداسي الأوجه أو المكعب: تقطع أوجه هذا الشكل محورا بلوريا واحدا وتوازي المحورين الآخرين، وعلى ذلك تكون الأحداثيات أ: ∞: ∞ والدليل هو {001}، ويكون شكل الوجه على بلورة نموذجية مربعا حيث تمر المحاور البلورية بمراكز هذه الأوجه أم المحاور الثلاثية التماثل الإثني عشر حرفا بين هذه الأوجه حيث يصل كل محور بين منتصف حرفين.

ثلاثي الثماني الأوجه، تقطع أوجه هذا الشكل اثنين من المحاور البلورية على مسافتين متساويتين. أما تقاطع المحور الثالث فعلى مسافة أطول، تكون الأحداثيات إذا أ:أ:مأ، حيث م عبارة عن عدد نسبي أكبر من الواحد ولكن أقل من ما لا نهاية.

وينتج عن ذلك أنت يكون الدليل {هـ هـ ل} حيث هـ هـ ل مثل {122}، ويتكون الشكل من أربعة وعشرين وجهاً، كل وجه منها عبارة عن مثلث متساوي الساقين.

الأربعة وعشرون وجهاً: (شبه المنحرف المكعبي)، يتكون هذا الشكل من أربعة وعشرين وجهاً، كل وجه عبارة عن شبه منحرف يقطع أحد المحاور البلورية على مسافة تساوي الوحدة ويقطع المحورين الآخرين على مسافتين متساويتين أكبر من الوحدة "م أ" حيث $\infty > م > 1$ ، الأحداثيات هي 1: م: 1 م: 1، والدليل عو {هـ ل ل} حيث هـ هـ ل مثل {112}، وتصل المحاور البلورية بين الزوايا المكونة من ثلاثة أوجه، أما المحاور ثنائية التماثل فإنها تميل بين المحاور البلورية.

رباعي السداسي الأوجه، نجد في هذا الشكل البلوري أن كل وجه يقطع محورا بلورياً على مسافة تساوي الوحدة، والثاني على مسافة أكبر مقدارها م 1 حيث $\infty > م > 1$ ، ويوازي المحور الثالث. وتكون الأحداثيات إذا 1: م: 1، والدليل هو {هـ ل ل} مثل {012}. ويتكون الشكل من أربعة وعشرين وجهاً، موزعة بحيث تحل كل أربعة أوجه محل وجه في شكل سداسي الأوجه، ويكون كل وجه منها عبارة عن مثلث متساوي الساقين. وتصل المحاور البلورية في هذا لاشكل بين

الزوايا الست الناتجة من تلاقي أربعة أوجه لكل منها، بينما تصل المحاور ثلاثية التماثل بين الزوايا المكونة من ستة أوجه، أما المحاور ثنائية التماثل فإنها تصف الأحرف الطويلة.

سداسي الثماني الأوجه، يتكون هذا الشكل من 48 وجهًا، كل ستة أوجه تكونت مكان وجه من أوجه شكل الثماني الأوجه، ويقطع كل وجه أحد المحاور البلورية على مسافة مقدارها الوحدة، والمحورين الآخرين على مسافتين غير متساويتين نأ، مأ على التوالي، حيث ن أصغر من م، وحيث ∞ م >، إذا الأحداثيات هي (أ: ن أ: مأ)، والدليل هو {هـ ك ل}، حيث هـ > ك > ل مثل {123} أو {135}. وتتم المحاور البلورية بالزوايا الناتجة من تلاقي ثماني الأوجه، وكل وجه في هذا الشكل عبارة عن مثلث غير متساوي الأضلاع.

مميزات البلورات المكعبية

تتميز البلورات المكعبية غير المشووعة بتساوي أبعادها في اتجاهات ثلاثة متعامدة على بعضها البعض، وهذه الاتجاهات الثلاثة هي المحاور البلورية. وكذلك تتميز البلورات المكعبية جميعها بوجود أربعة محاور ثلاثية التماثل. وتظهر البلورات بعدد كبير من الأوجه المتشابهة إذ أن أقل عدد من الأوجه يتبع شكلا واحدا هو ستة في نظام سداسي الثماني الأوجه. وكل شكل بلوري يمكن أن يكون بلورة بمفرده، أي أنه عبارة عن شكل مقفول.

فصيلة السداسي Hexagonal System

المحاور البلورية

تشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التي لها أربعة محاور بلورية، ثلاثة منها متساوية في الطول وتقع في مستوى فقي وتتقاطع بزوايا قدرها 120 درجة، أما المحور الرابع فمختلف عنها في الطول (إما أن يكون أطول أو أقصر)، ويمتد رأسيا (أي متعامدا على المحاور الأفقية)، ويرمز إلى المحاور الأفقية بالرموز 1، 2، 3، أما المحور الرأسي فهو المحور ج.

ولما كانت فصيلة الثلاثي لها نفس العدد من المحاور البلورية، فإن بعض المؤلفين يضم البلورات الثلاثية والسداسية في فصيلة واحدة هي فصيلة لاسداسي، ولكن نظرا للفارق الأساسي في البناء الضري، وهو أن المحور الأساسي للتماثل هو سداسي في بلورات السدسي وثلاثي في بلورات الثلاثي، وأن بلورات الثلاثي لا تحتوي على مستوى تماثل أفقي بالمرّة، فإننا نجد أنه من الأكثر صوابا أن ندرس البلورات السداسية كفصيلة بذاتها، مستقلة عن فصيلة الثلاثي التي تشمل البلورات الثلاثية.

وتعرف نسبة طول الوحدات على المحور ج إلى أ بالنسبة المحورية ج:أ، وهي مميزة لكل بلورة سداسية. فمثلا بلورة معدن بيرل لها نسبة محورية ج:أ = 0.996، أما في معدن بيروتييت فنجد أن النسبة المحورية ج:أ = 1.650.

وتمسك البلورة السداسية بحيث يكون المحور الرأسي ج دائما محورا سداسي التماثل (دوراني أو انقلابي). ويمتد المحور 2 موازيا لماسك البلورة من اليمين

(+) إلى اليسار (-). أما المحور 1، فيمتد من الأمام ناحية اليسار (+) إلى الخلف ناحية اليمين (-). أما الطرف الموجب من المحور 3 فيقع في الخلف إلى اليسار بينما طرفه السالب يقع في الأمام إلى اليمين.

النظام العددي أو نظام الهرم المنعكس السداسي المزدوج Dihexagonal Bipyramidal Class

التمائل

قانون التماثل الكامل: $6/m \ 2/m \ 2/m \ 3$ ،

المحاول التماثلية: المحور ج هو محور سداسي التماثل. وتوجد ثلاثة محاور أفقية ثنائية التماثل تنطبق على المحاور البلورية أ. وكذلك توجد ثلاثة محاور أخرى ثنائية التماثل تنصف الزوايا بين المحاور البلورية 1، 2، 3،

المستويات التماثلية: يوجد في هذا النظام سبعة مستويات تماثلية بياتها كالاتي،

مستوى تماثل أفقي يشمل المحاور البلورية الثلاثة مستويات تماثلية رأسية يشمل كل منها المحور الرأسي ج وأحد المحاور البلورية الأفقية. ثلاثة مستويات تماثلية رأسية تنصف الزوايا بين المستويات الرأسية السابقة (المستويات التماثلية المحورية).

مركز التماثل: يوجد مركز تماثل في بلورات هذا النظام ويتطلب أن يكون لكل وجه وجه آخر مقابل له.

الأشكال البلورية

ملاحظة: سوف نستعمل كلمة مزدوج di ، مثل سداسي dihexagonal ، لوصف الأشكال التي تتكرر أوجهها اثنين اثنين حول المحور التماثلي، أما الأشكال التي تتكرر أوجهها بالنسبة للمستوى التماثلي فسوف نصفها بكلمة منعكس bi ، مثل هرم منعكس bipyramid ، نسبة إلى الانعكاس خلال مستوى التماثل الأفقي.

الأهرامات المنعكسة bipyramids ، وهي عبارة عن أشكال مقفولة تقطع أوجهها المحور ج بصفة أساسية وبعض أو كل المحاور الأفقية. توجد ثلاثة أنواع من الأهرامات المنعكسة السداسية.

هرم منعكس سداسي من الرتبة الأول (أو هرم منعكس وتري، يتكون هذا الشكل من 12 وجها لها الأحداثيات (أ: ∞ أ : أ: م ج). أو بمعنى آخر تقطع محورين متجاورين أ (تصل بينهما مثل الوتر) ، وتمتد موازية للمحور الأفقي الثالث وتقطع المحور الرأسي ج فإذا كان التقاطع على المحور ج مساويا لطول الوحدة فإن الدليل يكون في هذه الحالة {1101}، وهذا هو هرم الوحدة. Unit pyramid أما الدليل العام لهذا الشكل فهو {ه ه ل}.

هرم منعكس سداسي من الرتبة الثانية، ويختلف هذا الشكل عن الهرم المنعكس السداسي من الرتبة الأولى في أنه عندما تمسك البلورة في القراءة الصحيحة (المحور 2 دائما موازي لماسك البلورة)، فإنه يوجد في مواجهتك حرف وليس وجه بلوري، وهذا يعني أن المحاور البلورية الأفقية عمودية منصفة للأحرف الأفقية (ويسمى لهذا السبب بالهرم المنعكس المتعامد) أن كل وجه بلوري في

هذا الشكل يقطع أحد المحاور البلورية الأفقية في مسافة الوحدة ويقطع المحورين الآخرين على مسافتين أطول، ولكن متساويتين، وتكون الأحداثيات إذن (ن : أ : ن : أ : م : ج) والدليل هو {هـ هـ 2 هـ ل}، ويتكون هذا الشكل من 12 وجهاً في هيئة مثلثات متساوية الساقين تقفل الفراغ.

المنشورات Prisms، وهذه عبارة عن أشكال مفتوحة يوازي الوجه فيها المحور ج ويقطع بعض أو كل المحاور الأفقية أ2، أ2، أ3. وهناك ثلاثة أنواع من المنشورات تقابل الأنواع الثلاثة من الأهرامات سالفة الذكر.

منشور سداسي من الرتبة الأولى (منشور سداسي ولري)، يمكن الحصول على أوجه هذا الشكل من أوجه الهرم المنعكس الذي له نفس الرتبة (الأولى في هذه الحالة) إذا جعلنا التقاطعات على المحور ج تأخذ أكبر قيمة لها، أي قيمة مالا نهاية. وينتج عن ذلك أن نختزل أوجه الهرم المنعكس الاثنتا عشر إلى ستة أوجه فقط، يقطع كل وجه منها محورين أفقيين في مسافة تساوي الوحدة ويمتد موازياً للمحور الأفقي الثالث،، يوازي المحور ج، (المنشور بحكم تعريفه يوازي المحور ج). ويكون هذا المنشور شكلاً مفتوحاً وفيه تصل المحاور الأفقية أ بين منتصف الحروف المتقابلة، وينتج عن ذلك أن يكون في مواجهة ماسك البلورة وجهاً بلورياً. الأحداثيات (أ : أ : أ : أ : أ : ج).

المسطوح القاعدي: وهو عبارة عن شكل مفتوح مكون من وجهين، كل وجه يقطع المحور ج ويوازي المحاور الأفقية أ. والأحداثيات (أ : أ : أ : أ : أ : ج) والدليل هو {1000}. يرى المسطوح القاعدي في الأشكال (62، 64، 68) مجموعات مع المنشورات.

مجموعات الأشكال:

توجد على بعض البلورات مجموعة من الأشكال البلورية المختلفة فمثلا في بلورة بيريل Beryl ، ، توجد مجموعة من هرم منعكس سداسي من الرتبة الأولى وآخر من الرتبة الثانية، ومنشور سداسي من الرتبة الأولى وآخر من الرتبة الثانية، ومسطوح قاعددي. نلاحظ مجموعة أخرى من الأشكال على بلورة أخرى لمعدن البريل.

أمثلة من المعادن: يتبلون معدن بيريل (Beryl $(\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{16})$ ، 71) في هذا النظام الكامل التماثل. كذلك يتبلور في هذا النظام معادن موليبدنيت Molybdenite (MoS_2)، بيرويت Pyrobitite (FeS)

مميزات البلورات السداسية:

تتميز جميع البلورات السداسية غير المشوهة في النظام كامل التماثل وفي معظم النظم الأقل تماثلا بالمظهر السداسي حيث يكون المحور الرأسي محورا دورانيا سداسي التماثل. ولكن في نظامين فقط قد تبدو البلورات ثلاثية المظهر حيث يكون المحور الرأسي محورا انقلابيا سداسي التماثل، وفي هذين النظامين يكون هناك دائما مستوى تماثل أفقي يعكس (أو يكرر) الأشكال البلورية العليا إلى أشكال بلورية سفلى (في النصف الأسفل للبلورة) [المعروف أن المحور الانقلابي السداسي يعادل محور دوراني ثلاثي متعامد على مستوى تماثل]. كما تتميز البلورات بأن أوجه الأشكال البلورية (باستثناء المسطوح القاعدي)، تتكون عموما من ستة أوجه أو مضاعفات العدد ستة.

فصيلة الرباعي Tetragonal System

المحاور البلورية: تشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التي لها ثلاثة محاور بلورية متعامدة، إثنان منها متساويان في الطول ويقعان في مستوى أفقي والثالث مختلف عنها في الطول (إما أقصر أو أطول) وعمودي عليهما. ويرمز إلى المحورين المتساويين بالمرز أ1، أ2، أما المحور الرأسي فيرمز إليه بالمرز ج. وتعرف نسبة طول الوحدة على المحور ج إلى طول الوحدة على المحور أ بالنسبة المحورية ج:أ، وهي مميزة لكل بلورة رباعية. فمثلا بلورة معدن كاسيتريت (SnO₂) Vassitete، لها نسبة محورية ج: أ = 0.672 (أي ج أقصر من أ)، وفي الزركون (ZrSiO₄) Zircon، ج: أ = 0.891 أما في معدن أناتيز (TiO₂) Anatase، فنجد أن نسبة ج: أ = 1.777 (أي ج أطول من أ). وتمسك البلورة الرباعية بحيث يكون المحور الرأسي ج دائما محور رباعي التماثل (دوراني أو انقلابي).

وتشمل فصيلة الرباعي سبعة نظم بلورية (مثل فصيلة السداسي)، كما يلي في النظام قانون التماثل الكامل مثال من المعادن الهرم المنعكس الرباعي /م 2 4/م ن الزركون ZrSiO₄ شبه منحرف الأوجه الرباعي 2 2 2 2 4 فوسجينيت (PbO)₂CCl₂O الوتد المنعكس الرباعي 2 2 2 2 4 كالكوبيريت CuFeS₂ الهرم الرباعي المزدوج 4 م 2 م 2 ديابولييت 4 (OH)PhCuCl₂ الهرم المنعكس الرباعي /م 4 ن شيليت CaWO₄ الوتد الرباعي 4 كاهنيت الهرم الرباعي 4 ولفينيت PbMoO₄

فصيلة المعيني القائم Orthohombic System

تشمل هذه الفصيلة جميع البلورات التي لها ثلاثة محاور متعامدة وغير متساوية، ويمتد المحور ج راسيا، بينما يمتد المحور ب من اليمين إلى اليسار، أما المحور أ، فإنه يتجه من الأمام إلى الخلف، ولا يوجد محور أساسي في هذه الفصيلة، بمعنى أن أي محور يمكن أن يختار ليكون المحور ج. وعادة نختار ج أطول من ب، ب أطول من أ. وتتكون النسبة المحورية إذن من قيم ثلاث. فمثلا في بلورة الكبريت أ: ب: ج = 0.813 : 1 : 0.903، أما في معدن سلاستيت، فنجد أن النسبة أ: ب: ج = 0.9 : 1 : 1.280.

النظام قانون التماثل الكامل مثال من المعادن الهرم المنعكس المعيني القائم 2
3/م ن باريت BaSO₄ الوند المعيني القائم 2 3 ابسوميت MgSO₄·7H₂O
الهرم المعيني القائم 2م م هيميمورفيت Zo₄(OH)₂Si₂O₇H₂O

نظام الهرم المنعكس المعيني القائم Orthorhombic Bipyramidal system

التماثل:

قانون التماثل: 2/م 2/م 2/م ن، أو 2 3/م ن،

المحاور التماثلية: يوجد ثلاث مستويات تماثلية، إثنان منها رأسيان والثالث أفقي، ويشمل كل منها محورين بلوريين،

مركز التماثل: موجود أيضا في بلورات هذا النظام.

الفصل الرابع

عمل الصخور

علم الصخور

هو العلم الذي يدرس الصخور من حيث نشأتها وطريقة تكونها ومعرفة محتواها والعوامل المؤثرة. كما يهتم علم الصخور بدراسة كيفية تكونها ونموها وكيفية استقرار مجالها المغناطيسي المصاحب للمجال المغناطيسي للأرض فمن الصخور عدة أنواع منها: الرسوبية، والنارية، والمتحولة.

تتكون الصخور اما عن طريق البراكين Volcanic Rocks وهى التى تتكون مع برود الصخور الصهارية على سطح الارض، او Plotonic Rocks وهى التى تتكون مع برود الصخور الصهارية داخل الارض (الطبقات الاولى لسطح الارض). وعند تصنيف هذه الصخور يلاحظ مدى كبر حجم الحبيبات المكونة لها فإذا كانت كبيرة فإنها تكون Plotonic Rocks اما إذا كانت ذات حبيبات صغيرة فإنها تكون Volcanic Rocks ويعتمد تصنيف الصخور بعد معرفة اذا كانت Volcanic or Plotonic على عدة عوامل وهى:

- اللون المعادن المكونة لها.
- حجم الحبيبات المختلفة للمعادن.
- النسبة بين المعادن المختلفة المكونة لها.
- معرفة المعادن المكونة لها (سيتم التوضيح فيما يلى).
- تحديد نوع الصخور المراد معرفتها.

في الستينيات من القرن العشرين الميلادي اقترح علماء الأرض نظرية تكتونية تضمنت فكرتين سابقتين هما الزحف القاري وتيارات الحمل. وقادت هذه النظرية

الجديدة كثيرا من العلماء للاستنتاج بأن قشرة الأرض الخارجية والمسماة بالليثوسفير تشتمل على عدد من الطبقات الصلبة. وأن بعض هذه الطبقات لا تتبع الحدود القارية، بل إن بعضها يضم كلا من القارات والمحيطات. وتبلغ سماكة قشرة الأرض الخارجية حوالي 70 إلى 150 كم، ويبدو أنها في حالة حركة دائمة. وتنزلق طبقات الليثوسفير ببطء على طبقة بلاستيكية لينة من صخور اسمها الغلاف الطيع. وتتحرك الطبقات لمسافة 1,3 إلى 10 سم سنويا. ويبدو أن النشاط التكتوني يحدث أساساً على امتداد أطراف الطبقات. وإذا ضغطت إحدى الطبقات على الأخرى فإن الطبقة المضغوطة إما أن تتجعد لتكوّن الجبال، أو تنتهي إلى أسفل داخل الوشاح وهي الطبقة التي تأتي بعد القشرة، وفوق جوف الأرض. وهذه الطبقات المنتهية إلى أسفل والمسماة مناطق الطرح تولد الزلازل والنشاط البركاني. وهناك طبقتان من الأرض تنتشران مبتعدتين عن بعضهما بعضاً وتشكلان أرضيات المحيط وسلسلة جبال طويلة تحت الماء تسمى الحيدود المحيطية. وتحدث الزلازل الكبرى والشقوق في غطاء الأرض الخارجي عندما تنزلق طبقتان نحو بعضهما. وتسمى هذه الشقوق الصدوع.

وبعض ظواهر قشرة الأرض الرئيسية تحدث على أطراف طبقات الليثوسفير. ومثل هذه الظواهر تضم الجبال وأخاديد قاع المحيط، وسلاسل تلال المحيط، والبراكين، والجزر البركانية المسماة أقواس الجزر.

ويعتقد معظم علماء الأرض أن تيارات الحمل هي التي تخلق القوة التي تحرك الطبقات العملاقة. وعملا بهذه النظرية فإن تيارات الحمل التي توجد في غلاف

الأرض تحمل الصخر المنصهر من الغلاف الطيع إلى أعلى. والصخر المنصهر في صعوده يضيف إلى قاع المحيط في بعض تلال المحيط. وتيارات الحمل الحراري التي توجد في الصخور تحمل الطبقة القشرية المكونة حديثاً على الغطاء الخارجي بعيداً عن تلال المحيط كأنما هي محمولة على السير الناقل.

وقد رفض بعض العلماء الأجزاء المختلفة لنظرية تيارات الحمل هذه، بل إن علماء آخرين يطالبون بالبرهان الدال على وجودها نفسه وعلى أنها تنتج القوة الهائلة الكافية لتحريك الطبقات الأرضية.

تأثير المناخ في تكوين الصخور (العوامل السطحية)

تشقق الصخور المعرضة للتبدلات الحرارية، وتتقشر قشرتها بالتجوية في الصحارى الحارة أو الجبال الشاهقة أو في تربة المناطق المعتدلة أو المدارية متفاوتة السماكة والتركيب، إذ تتشكل تربة رخوة القوام سهلة الانتقال بالرياح السطحية والمياه الجارية، ويمكن للجليد اقتلاعها كلياً أو جزئياً. ويستطيع الجليد بتماسكه أن ينقل قطعاً كبيرة الحجم كنقله للأجزاء الناعمة. وتنخدش المواد المنقولة بالجليد، كما تقوم بصقل القاعدة الصخرية التي تنتقل عليها. إلا أنها تحتفظ بأشكال زاوية حادة. وتشهد المورينات moraines (ركام جليدي، وهو ما تجرفه الانزلاقات الجليدية من حفات صخري في أثناء حركتها. وهناك مورينات جبهية وجانبية وسفلية) المستحاث والركام الجليدي العائد للحقب الأول في القارة الإفريقية على مناخ جليدي، وتدل على تجلد قاري قديم. أما المياه فهي أكثر انتقائية، إذ تقوم بعملية الفرز في أثناء النقل.

وتصنف الرواسب تبعاً للكثافة والحجم. وتكون المواد المنقولة بالماء مصقولة وذات بريق وموجهة بالتيارات التي يمكن إعادة بنائها بعد عدة ملايين أو مليارات السنين. وتعكس التوضعات الحولية المؤلفة من تطبق مستويات كوارتزية بيضاء وغضارية قاتمة تعاقب فصول الشتاء والصيف. ويزداد فعل الاصطفاء بالرياح حيث تكون الغباريات والرمال الناعمة المنتزعة من المورينات والترب واللحقيات مصنفة بشكل مثالي. ويستثنى من ذلك توضعات اللوس loose راسب فتاتي غير متماسك وغير متطبق، غالباً ما يتكون من غضار رملي وكلسي لا تتجاوز أبعاد عناصرها بضع ميكرونات، وهو راسب صحراوي الأصل، ويعرف أيضاً باسم الليمون limon ويحيط برواسب الجليديات (والكتبان القديمة، بسبب كون هذه المواد أكثر هشاشة من توضعات الجليد والمياه الجارية. لذلك يجب دراسة حبات الرمال بدقة وتفصيل للعثور على شواهد تدل على انتقالها بالرياح. وتمكن العلامات التي تحملها التضاريس والحصى والقطع المعرضة للنقل بالرياح من تحديد اتجاه الرياح المسيطرة منذ أكثر من 200 مليون سنة. وتنتقل العناصر التي ينتزعها الماء من فلات ترب المناطق المعتدلة والمدارية على شكل محاليل ومواد معلقة. ويرتبط تثبيت هذه العناصر بفعل الكائنات الحية أو بترسبها في شروط مناخية محددة. وتدل الأرصفة (الشعاب) المرجانية التي تشكلت في الماضي، كما في أياونا الحالية، على مياه صافية قليلة العمق غنية بالمواد العضوية. أما تراكيمات الجص والملح الصخري فهي تشير إلى أحواض شاطئية أو قارية حيث يشتد البخر.

وهكذا يقود فرز المواد في أثناء عملية التحلل المائي hydrolysis ، بمساعدة شروط ترسيبية معينة، إلى تركيز العناصر ضمن الرواسب. لكنه يترك في المكان عناصر أخرى، كالألومنيوم Al_3 الذي يضاف إليه الحديد Fe_3 في شروط مؤكسدة. وليس لتراكيز هذه العناصر المتسلسلة فائدة تطبيقية فقط، وإنما تدل أيضاً على شروط محددة في مناخات سادت قديماً. ومن المعلوم أن عنصر الألومنيوم كان يتركز في دور الكريتاسي في جنوبي فرنسا، كما يتركز اليوم في الكمرون أو في غينيا ويترك سقوط النيازك على سطح الأرض آثاراً مميزة ومبعثرة. ولم تُحصَ في حقب طويلة سوى الآثار البنيوية وآثار الحفر والحواف ومواقع الصدم.

تأثير العوامل الداخلية في تكوين الصخور

يحمل المهل magma إلى سطح الأرض محتويات الأعماق. وتقدم حالتها وتركيبها ودرجة حرارتها والغازات المنبثقة عنها معلومات عن الأعماق التي قدمت منها، وبتبردها تتحول إلى بلورات ومواد زجاجية. والزجاج هو الطور السائل المتصلب، ويعد وجوده دليلاً قاطعاً على مروره بالحالة السائلة. أما البلورات فتؤلف عموماً مجموعتين: الميكروليتات التي يمكن رؤيتها بالمجهر فقط، والبلورات الضخمة التي ترى بالعين المجردة. وتتشكل الميكروليتات في أثناء التبريد متزامنة مع تشكل الزجاج، في حين بينما تدل البلورات الضخمة على مراحل تبلور سابقة يسمح تحليلها بدراسة حالات التوازن بين البلورات والسوائل. وهكذا تمكن دراسة الفلزات، التي يتفاوت تركيبها بين مكونين اثنين وعدة مكونات، من استنباط الشروط التي مرت بها. أما بعض الفلزات

minerals، كالبلاجيوكلازات plagioclases فإن الاختلاف في تركيبها ينعكس تباينات واضحة جداً في الخصائص الضوئية، مما يسمح بالتنبؤ والاقتراب الصحيح من تركيبها. إلا أن المؤشرات التي يقدمها التحليل الضوئي ليست كافية لتحديد الزجاج ومجموعات فلزية أخرى كالبيروكسين pyroxenes والغرينات grenates. هذه الفلزات هي الحقل التطبيقي المفضل للمسبار الإلكتروني electronic probe، وتسمح دراسة منطقاتها، الدالة على وجود توازنات بين البلورات والسوائل، بتعميم الشروط التي مرت بها على فلزات الصخور المغماتية magmatic المبلورة كلياً.

من ناحية أخرى فإن التركيب العام للفلزات المتأخرة التبلور يقدم فكرة عن مراحل تطور هذه الصخور. وتمكن الفلزات الميكروغماتيتية (كوارتز وصفاح قلوي) لصخور الدولوريت dolerite وفلزات البيوتيت لصخور البازلت القلوية من استنتاج الاختلافات التي تقود تدريجياً إلى تشكل الفونوليت والريوليت. وتقدم التراكيب العامة للصخور المغماتية معلومات مفيدة للغاية عن أصل السوائل التي نشأت انطلاقاً منها، ومعرفة تاريخ الصخر بدءاً من اللحظة التي تبلور فيها كلياً أو جزئياً. تقبل معظم الفلزات أشكالاً مختلفة تبعاً للشروط الفيزيائية السائدة، ويحتفظ بعضها بدلالة التطور وهي في الحالة الصلبة. وهذه هي حالة الصفاح القلوي الذي يشكل في درجات حرارة مرتفعة محلولاً متجانساً اعتباراً من الأورثوز orthose (KAlSi_3O_8) حتى الألبيت albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) وحين تنخفض درجة الحرارة تظهر البرثيتات perthites التي تنبئ بتوزيع المكونات في طورين متميزين وبالطريقة ذاتها، تستطيع أيونات الحديد الصغيرة Fe^{2+}

والمغنزيوم Mg^{2+} وأيونات الكالسيوم الضخمة Ca^{2+} أن تدخل في شبكة البيروكسين، لكنها تتفصل في درجات الحرارة الأخفض وتتوضع في أطوار منفصلة. وتحمل الصخور المتحولة أيضاً أثر الظروف التي مرت بها والتي يمكن كشفها بملاحظة تغيرات تركيب فلز ما ضمن سلسلة من سحن (هياآت) هذه الصخور. ففلزات الأمفيبول مثلاً تتدرج في ألوانها من الأخضر إلى البني وتسلك بذلك سلوك مؤشرات لونية. وتسمح المعرفة التجريبية المتزايدة الدقة لأشكال الفلزات والتفاعلات فيما بينها بتفسير التجمعات الفلزية الطبيعية وفهم مدلولاتها.

تحمل الصخور في ثنائياها أثر حركة مكوناتها قبل تبلورها وفي أثناءه وبعده. وفي المهل تأخذ البلورات اتجاهات معينة، كما هي حال مواد عائمة في مياه جارية ويمكن تحليل هذه الاتجاهات من إيجاد البنية الداخلية للأجسام الاندفاعية العميقة (المندسة) والصبات البركانية (السطحية)، حيث يسمح توجه فلزات الميكا السوداء (البيوتيت biotite) داخل طية بتمييز جيلين منها: الأول سابق للطية نتيجة وجود هذه الفلزات في أسرة مشوهة بفعل الطية، والثاني معاصر للطية وذلك لارتصاف الفلزات وفق المستوى المحوري للطية. وعلى هذه الدرجة من التحليل تلتقي البترولوجيا مع مفهوم التكتونيك الدقيق (الميكروتكتونيك).

الفصل الخامس

طبقات الأرض

طبقات الارض

يعتبر كوكب الأرض من كواكب المجموعة الشمسية وهو الكوكب الثالث الذي يأتي بعد عطارد والزهرة، وقد يطلق عليه بالعالم أو اليابسة، ويعتبر كوكب الأرض الوحيد المعروف الذي يوجد عليه حياة والذي يعيش عليه كائنات بملايين الانواع، وعمر تكوّن الأرض ما يقارب 4.54 مليار سنة، وقد ظهرت الحياة عليه في المليار الاخيرة والتي تكوّن فيها الغلاف الجوي وطبقة الأوزون ووجود الاكسجين مما جعل العيش على كوكب الأرض ممكن لجميع الكائنات الحية. وجود الخصائص الفيزيائية لكوكب الأرض والمدار الفلكي المناسب جعل هذا الكوكب وجود الدفء والطاقة ووجود الماء الى نشأة الحياة، ويعمل المجال المغناطيسي على إبعاد الجزيئات (الجسيمات) الأولية القادمة من الشمس والتي بدورها لا تؤدي الى تضرر الكائنات الحية، ويقدر عمر الأرض القادم بحوالي 1.2 مليار سنة قادمة. تعريف كتلة الأرض تعتبر الكتلة بشكل عام هو المقدار الفيزيائي، ويعرّف أيضاً بمقدار ما يحويه الجسم من مادة، وهي تختلف إختلاف كلي عن مفهوم الوزن، ويقاس الكتلة بوحدة ب الغرام والكيلو غرام، وهي عبارة عن كمية المواد الموجودة في المادة وهو مقدار ثابت لا يتغير مع تغير الزمن، ولكن يستخدم أحيانا بمعنى الوزن في الحياة العملية ولكن بالمفهوم العلمي تشير الى خصائص أخرى.

تقع بنية الطبقات الداخلية للأرض في شكل كروي، مثل البصل، هذه الطبقات يمكن تعريفها من قبل خصائصها الكيميائية أو الريولوجية. لدي الأرض القشرة الخارجية الصلبة، وشاح عالي اللزوجة، واللب الخارجي السائل الذي هو أقل

بكثير من لزوجة الوشاح، والنواة الداخلية الصلبة، ويستند الفهم العلمي للبنية الداخلية للأرض على ملاحظات طبوغرافية و قياس الأعماق، والملاحظات تأتي من نتوء الصخور، و جلب عينات إلى السطح من أعماق أكبر من خلال النشاط البركاني، وتحليل الموجات الزلزالية التي تمر عبر الأرض، وقياسات لحقل الجاذبية الأرضية، والتجارب مع المواد الصلبة البلورية في الضغوط و درجات الحرارة من بنية الطبقات الداخلية.

يمكن تعريف بنية الأرض بطريقتين: من خلال الخواص الميكانيكية مثل الريولوجيا، أو كيميائيا ، ميكانيكيا: فإنه يمكن تقسيمها إلى الغلاف الصخري، وشاح، اللب الخارجي، والنواة الداخلية، كيميائيا: فإنه يمكن تقسيم الأرض إلى القشرة، الوشاح العلوي، الوشاح السفلي، اللب الخارجي، والنواة الداخلية.

اللب الخارجي :

متوسط كثافة الأرض هو 5,515، بينما متوسط كثافة المواد السطحية حوالي 3,000 و تظهر القياسات الزلزالية أن اللب الخارجي ينقسم إلى قسمين وهما النواة الداخلية "الصلبة " و اللب الخارجي "السائل"

تم اكتشاف النواة الداخلية في عام 1936 من قبل ليتمان إنجي ويعتقد عموما أنها تتألف أساسا من الحديد و النيكل و تظهر الدراسات التجريبية الأخرى التناقض تحت ضغط عال، أن ذوبان من شأنه ان يسبب كثافة المواد لإغراق نحو الوسط في عملية تسمى تمايز الكواكب في حين أن المواد الأقل كثافة قد

هاجرت إلى القشرة، و هكذا يعتقد أن الجوهر إلى حد كبير يتألف من الحديد بنسبه 80% جنبا إلى جنب مع النيكل في حين أن عناصر الكثافه الأخرى، مثل الرصاص واليورانيوم، إما نادرة جدا أو تميل إلى الربط مع المواد الأقل كثافة التي قد هاجرت إلى القشرة، اللب الخارجي السائل يحيط النواة الداخلية، ويعتقد أن تكون مؤلفة من الحديد مختلطا مع النيكل و كميات ضئيلة من العناصر الأخف، وتشير التكهّنات الأخيرة أن الجزء الأعماق من اللب الخارجي غني بالذهب والبلاتين و العناصر الأخرى، وتقترح نظرية الدينامو أن الحمل الحراري في اللب الخارجي، جنبا إلى جنب مع تأثير كوريوليس، يؤدي إلى المجال المغناطيسي للأرض، ولكن ربما يعمل على تحقيق الاستقرار في المجال المغناطيسي الناتجة عن اللب الخارجي السائل، و يقدر متوسط شدة المجال المغناطيسي في اللب الخارجي للأرض لتكون 25 غاوس، 50 مرة أقوى من الحقل المغناطيسي للأرض على سطح، واقترحت الأدلة الحديثه أن النواة الداخلية للأرض قد تدور أسرع قليلا من بقية الكوكب ومع ذلك، المزيد من الدراسات الحديثة في عام 2011 وجدت هذه الفرضية ليست حاسمه حيث تبقى الخيارات لللب الخارجي والتي قد تكون متذبذبة في الطبيعة وفي أغسطس 2005 فريق من الجيوفيزيائيين أعلن في مجلة ساينس العلمية أنه وفقا لتقديراتهم، تدور النواة الداخلية للأرض حوالي 0,3-0,5 درجة سنويا بالنسبة إلى دوران السطح، التفسير العلمي الحالي لتدرج درجة الحرارة الأرض هو مزيج من الحرارة المتخلفة عن تكوين الكوكب الأولى، اضمحلال العناصر المشعة، وتجميد النواة الداخلية.

الوشاح :

الوشاح يمتد إلى عمق 2,890 كم، مما يجعلها طبقة سميكة من الأرض، الضغط في الجزء السفلي من الوشاح هو ~ 140 بمقياس برنامج العمل العالمي، ويتكون الوشاح من المواد التي هي غنية بالحديد والمغنيسيوم بالنسبة إلى القشرة الفوقية، على الرغم من صلابتها، لكن ارتفاع درجات الحرارة داخل الوشاح تدفع المواد بما فيه الكفاية بأن تجعلها تتدفق على فترات زمنية طويلة جداً. الحمل الحراري من الوشاح ينعكس على السطح من خلال الصفائح التكتونية. نقطة انصهار واللزوجة من المادة يعتمد على الضغط الذي تتعرض له، كما أن هناك كثافة وزيادة الضغوط مع بعضهما يؤثران في أعماق الوشاح، والجزء السفلي من الوشاح يتدفق بشكل أقل سهولة من الوشاح العلوي.

القشرة الخارجية الصلبة:

تتراوح القشرة 5-70 كم (3-44 ميلاً) في العمق و الطبقة الخارجية القشرة المحيطية هي أجزاء رقيقة، التي تكمن وراء أخواض المحيطات وتتكون من كثافة (المغنيسيوميه) سيليكات المغنيسيوم و الحديد و الصخور البركانية، مثل البازلت، القشرة القارية هي قشرة أكثر سمكاً، والذي هو أقل كثافة و تتألف من (السيليكا) سيليكات الألومنيوم الصخور البوتاسيوم الصوديوم، مثل الجرانيت، تسقط القشرة في فئتين رئيسيتين - سيال و سيما. تشير التقديرات إلى أن سيما تبدأ تحت الانقطاع كونراد بحوالي 11 كيلومتراً، هناك انقطاع في سرعة الزلزالية، والذي يعرف باسم الانقطاع موهو. ويعتقد أن سبب موهو أن يكون هناك تغيير في تركيبة الصخور من الصخور التي تحتوي على الفلسبار

بلاجيوجلاز إلى الصخور التي لا تحتوي على الفلسبار، العديد من الصخور التي تمثل قشرة الأرض تشكلت قبل أقل من 100 مليون سنة وهذا ما يوضح صلابه القشره الخارجيه للارض.

قال تعالى ك {الله الذي خلق سبع سموات ومن الأرض مثلهن } صدق الله العظيم.الأرض شكلها وطبقاتها وتكوينها : خلق الله الأرض وأبدع خلقه وهناك عدّة طبقات للأرض سنعرضها هنا. تتألف الأرض من سبع طبقات تم تثبيتهم علمياً من قبل العلماء وتكون هذه الطبقات فوق بعضها البعض، أول طبقة هي القشره الأرضية ويليها الغلاف الجوي وثلاث طبقات نطاق الضعف الأرضي والوشاح الأعلى والوشاح الأدنى و ثم النواة الخارجية والداخلية بهذا تكون سبعة طبقات وتختلف طبقات الأرض من حيث الكثافة والشكل ودرجات الحرارة والسماكة. القشرة الأرضيّة : وهي القشرة الرقيقة الهشة والمكونة لسطح الأرض وهي الجزء الأبرد من كوكبنا والتي تنقسم إلى قسمين هما 1. القشرة المحيطية وهي التي تمتد 10 كيلو مترات وتتكون نتيجة النشاط البركاني، 2. القشرة القاريّة وهي القشرة التي تمتد 50 كيلو مترات وتتكون من الصخور البلورية والمعادن ذات الكثافة المنخفضة وتمثل الجزء الخارجي للأرض. الوشاح وهي الطبقة الثانية التي تلي القشرة الأرضية وينقسم الوشاح إلى قسمين : الوشاح العلوي وهو الذي يلي القشرة مباشرة ويفصل بينه وبين القشرة فاصل يسمى (موهو) ويحدث عند الفاصل بينهما اختلاف في الصخور بين صخور القشرة والوشاح ويكون بعمق من 10 إلى 400% من عمق الأرض، وتتكون قشرة الوشاح من الأجزاء التي خفرت من الجبال والنفجارات البركانية والتي تمثل

المعادن، ويوجد هناك غلافين بالوشاح العلوي : الغلاف الصخري وهو الذي يكون عند إلتقاء القشرة بالوشاح العلوي وهو من منطقة صلبة وفي صخور صلبة وتختلف سماكة الصّخور من مكان إلى آخر. الغلاف المانع وهو يلي الغلاف الصّخري وهو المكان الذي يحدث به الصّهير بين الصّخور وهو المسؤول عن تيارات الإنجراف القارّي. الوشاح السّفلي وهو يكون بعمق 650 من قشرة الوشاح وتكون الصّخور فيه متجانسة وكثيفة وتتكوّن من السيلكون والمغنيسيوم والحديد. النواة الخارجية ويبدأ من قاعدة الوشاح و من الجدير بالذكر أنّه يتكوّن من الحديد في حالة السيولة وبعض العناصر وهو حار جداً ويتصرّف هذا السائل بشكل كهربائي مع دوران الأرض مكوّن التّيارات الكهربائيّة داخل الأرض. النواة الداخلية ويقع في مركز الأرض وهو صلب ومنفصل تماماً عن الوشاح ومتصل بالنواة الخارجية وهو قوي والسبب في ذلك نتيجة لتجمد الضغط للسوائل.

التاريخ الجيولوجي للأرض

بدأ التاريخ الجيولوجي للأرض منذ سنوات 4567000000 عندما تشكّلت الكواكب في النظام الشمسي من السديم الشمسي، كتلة القرص على شكل من الغبار والغاز التي خلفها تشكّل أحد المنصهر في البداية، والطبقة الخارجية للكوكب الأرض تبرّد لتشكل قشرة صلبة عندما بدأت المياه تتراكم في الغلاف الجوي. وشكّلت القمر بعد ذلك بقليل، وربما نتيجة لجسم بحجم كوكب المريخ مع حوالي 10 ٪ من كتلة الأرض،) المعروفة باسم Theia، مما يؤثر على

الأرض في ضربة خفيفة. بعض الشامل هذا الكائن اندمجت مع وطرده الأرض
وجزء واحد في الفضاء، ولكن ما يكفي من المواد لتشكيل نجا تدور حول القمر.
إطلاق الغازات المنتجة والنشاط البركاني الغلاف الجوي البدائي. أنتجت
التكثيف بخار الماء، تضاف إليها الجليد الذي ألقاه المذنبات، والمحيطات.

كما السطح إعادة تشكيل نفسها بشكل مستمر على مدى مئات الملايين من
السنين، وشكلت القارات وفضت. هاجر والقارات عبر السطح، والجمع بين
الحين والآخر وتشكيل عظمى. ما يقرب من 750 ما (مليون سنة) بدأ، وأقرب
Rodinia المعروفة عظمى، لكسر حدة. القارات في وقت لاحق إلى شكل معاد
Pannotia، ما 540-600، ثم أخيرا Pangaea، التي تحطمت 180 ما.

وبدأ النمط الحالي للعصور الجليدية ما يقرب من 40، ثم تكثفت خلال العصر
الجليدي حوالي 3 ما. المناطق القطبية ومنذ ذلك الحين شهدت تكرار دورات
التجلد وذوبان الجليد، وتكرار كل سنة 40،000-100،000. وانتهت الفترة
الماضية الجليدية في العصر الجليدي الحالية منذ حوالي 10،000 سنة.

ويمكن التاريخ الجيولوجي للأرض تصنيفها في فترتين : ما قبل الكمبري
و Phanerozoic ودهر.

الحقبة الأولية

هي أول وأطول الحقب الجيولوجية الثلاثة لدهر البشائر، والتي تمتد من (541.0 \pm 1.0) حتي (252.17 \pm 0.06) مليون سنة مضت وتنقسم إلى ست عصور جيولوجية (من الأقدم إلى الأحدث)

الكمبري، اوردوفيك، السيلوري، الديفوني، الفحمي، والبرمي تأتي الحقبة الأولية بعد حقبة الطلائع الحديثة من دهر الطلائع، وتتبعها الحقبة الوسطى.

كان الفترة الزمنية للحقبة الأولية مثيرة من الناحية الجيولوجية، والمناخية، والتغيرات التطورية. فقد شهد عصر الكمبري تنوع سريع للحياة وعلى نطاق واسع في تاريخ الأرض، وتعرف هذه الفترة بالانفجار الكمبري، فيه أول ظهور لمعظم الكائنات الحية الحديثة.

تطور كل من الأسماك، المفصليات، البرمائيات والزواحف خلال الحقبة الأولية. بدأت الحياة في المحيطات ولكن في نهاية المطاف انتقلت إلى الأرض، وبحلول أواخر الحقبة الأولية سيطر عليها أشكال مختلفة من الكائنات الحية. غطت غابات كبيرة من النباتات البدائية جميع القارات، وكثير منها شكل طبقات فحمية في أوروبا وشرق أمريكا الشمالية في نهاية الحقبة، هيمنت الزواحف الكبيرة المتطورة وظهرت أول النباتات الحديثة .

انتهت الحقبة الأولية مع أكبر انقراض جماعي في تاريخ الأرض، حدث انقراض العصر البرمي الترياسي وكانت آثار هذه الكارثة المدمرة بأن انهكت الحياة

على الأرض مدة 30 مليون سنة حتى تعافت في الحقبة الوسطى^[3] وكان انتعاش الحياة في البحر أسرع بكثير.

في أمريكا الشمالية، بدأت الحقبة بأحواض رسوبية عميقة على طول الجانب الشرقي والجنوب شرقي والغربي من القارة في حين كانت الأراضي الداخلية جافة. كما استمرت البحار الهامشية باجتياحها بشكل دوري على المناطق الداخلية مستقرة وتركت أثر الصخور الرسوبية. خلال بدايات من هذه الحقبة، تآكلت الصخور في وسط كندا في المناطق الخاضعة لما قبل الكمبري، بحيث زادت الرواسب في الأحواض من الداخل. في بداية عصر الأوردوفيشي، تشكلت الجبال في الجزء الشرقي من منطقة الآبالاش خلال الفترة المتبقية من الحقبة، مما جلب رواسب جديدة. غطت الرواسب المنحدرة من جبال الأكادية الجزء الغربي من أحواض الآبالاش لتشكل مستنقعات الفحم الشهيرة في العصر الكربوني. لا يستخدم مصطلح العصر الفحمي (carboniferous) في أمريكا الشمالية بشكل عام، بل بدلا من ذلك تم تقسيم الوقت ما بين عصري المسيسيبي والبنسلفاني بسبب اختلافات الصخور الرسوبية خلال تلك الفترة. يتميز عصر المسيسيبي بالرواسب الجيرية في البحار الضحلة، وعادة مع أحافير زنابق البحر الوفيرة كما في تشكيل برلنغتون. ويتميز عصر البنسلفاني بالرواسب البرية مثل الرمال، الصخر الطيني والأهم من ذلك الفحم. ويتم الحصول على معظم النفط والغاز من رواسب البنسلفاني.

تشير دراسات المناخ القديم من الأنهار الجليدية أن منطقة وسط أفريقيا كانت شبيهة بحد كبير من المناطق القطبية خلال بدايات الحقبة الأولية.

- بدايات الحقبة الأولية : بداية تشكل القارة الضخمة غندوانا أو أنها قد تشكلت مسبقا.

- منتصف الحقبة الأولية : اصطدمت قارتي أمريكا الشمالية وأوروبا ونتاج عن ذلك إرتفاعات الأكادية-كالدونيان، ورفعت الصفيحة الانغرازية شرق استراليا.

- أواخر الحقبة الأولية : شكلت الاصطدامات القارية بانجيا العملاقة وأدت تكون بعض السلاسل الجبلية الكبيرة، منها الابالاتشيا، الأورال وجبال تسمانيا.

بعد بداية الحقبة الأولية بوقت قصير تفككت القارة العملاقة بانوتيا وطول مدة الحقبة الأولية المبكرة، تكسرت اليابسة إلى عدد كبير من القارات. وقرب نهاية الحقبة تجمعت القارات معا لتكون القارة الكبرى بانجيا التي شملت معظم مساحة اليابسة في الكرة الأرضية.

عصر الكامبري

يعتبر أول عصر جيولوجية من عصور الحقبة الأولية ويمتد ما بين $541.0 \pm$ إلى 485.4 ± 1.9 مليون سنة مضت ويأتي بعده عصر الأوردوفيشي. تأسست هذه الفترة بواسطة العالم الجيولوجي آدم سيدجويك، الذي أطلق عليها الاسم نسبة إلى كامبريا (Cambria)، الاسماللاتيني لويلز، حيث وجدت أول أحجار من ذلك العصر. يعتبر الكامبري فريد للنسبة المرتفعة للرواسب الأحفورية التي تكونت خلاله. وهذه أماكن حفظ طبيعية، حيث احتفظت بأجزاء

لكائنات حية كانت صغيرة و"لينة" وكذلك أصدافها الأكثر مقاومة. وهذا يعني أن فهمنا لبيولوجيا الكامبري تفوق بعض الفترات القادمة.

تعد حقبة الكامبري من أقدم الحقب في تاريخ الأرض، والتي امتدت من 543 إلى 490 مليون سنة. في البدء اقتصرَت الحياة على وحيدات الخلية مع بعض الكائنات متعددة الخلايا. و لكن ، خلال نفس الحقبة ، ظهرت مجموعة متنوعة من الأشكال الحية الغير الاعتيادية والتي كانت مكتملة و مثالية الشكل. كل هذه الأشكال الحية جاءت مغايرة تماما لسابقتها، حيث كانت لها صفات معقدة مطابقة لما هو عليه الحال بالنسبة لجميع الكائنات الحية في وقتنا الراهن .

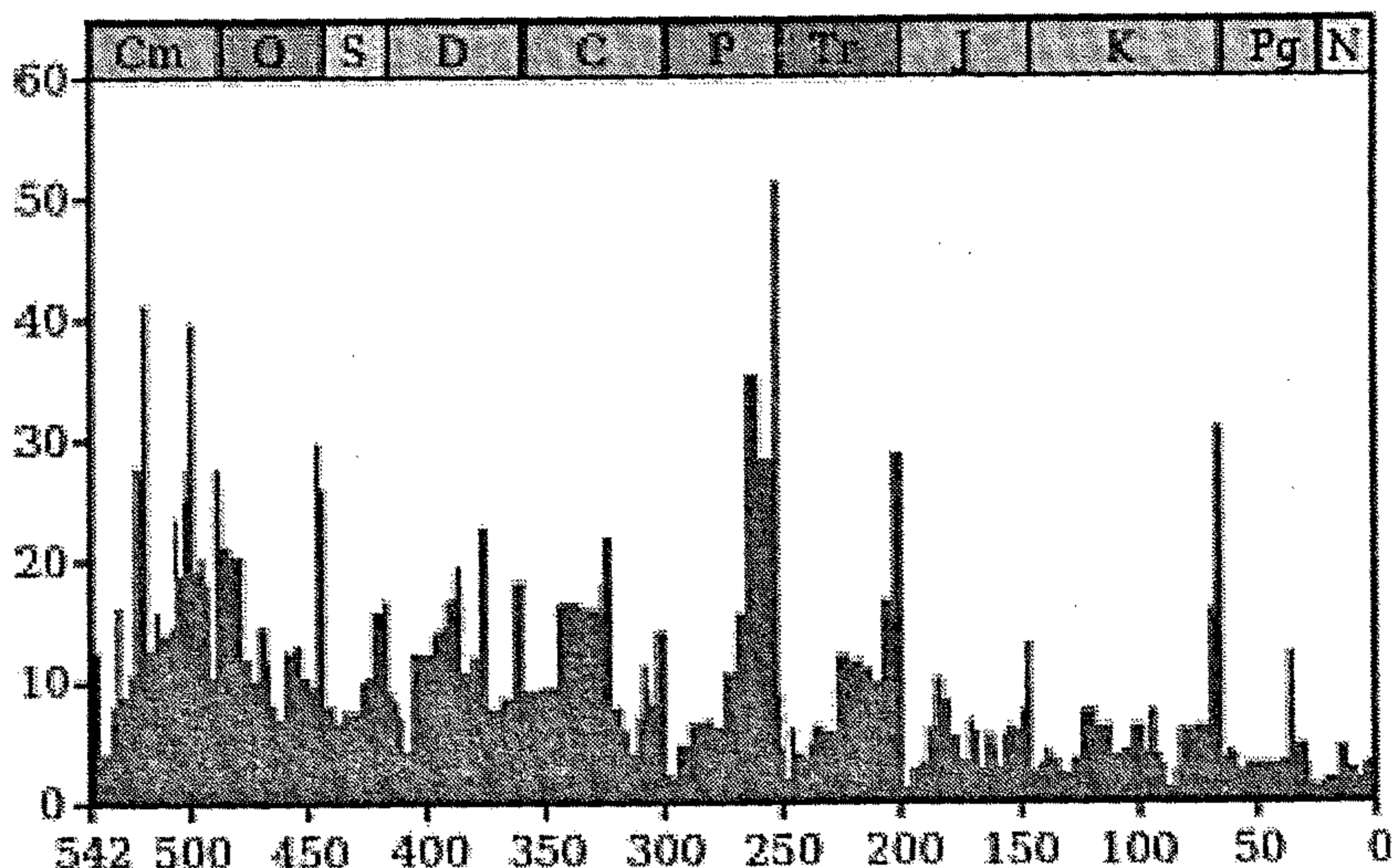
لوحظ على الكامبري تغير عميق في الحياة على الأرض؛ حيث كانت الكائنات الحية قبل الكامبري صغيرة، وحيدة الخلية وبسيطة. وبشكل تدريجي أصبحت الكائنات متعددة الخلايا معقدة وأكثر شيوعا على مر ملايين السنين التي سبقت الكامبري مباشرة، ولكنها لم تتحجر لتصبح أحفورات بسهولة^[4] يسمى التنوع السريع لأشكال الحياة في العصر الكامبري باسم الانفجار الكامبري، نتجت أولى أشكال الشعب الحديثة المتعددة، وتمثل الجذور التطورية للأنواع الحديثة، مثل الرخويات والمفصليات. في حين ازدهار أشكال الحياة المتنوعة في المحيطات ، بالمقابل كانت الأرض قاحلة - ليس أكثر تعقيدا من قشرة التربة الميكروبية وعدد قليل من الرخويات التي ظهرت لتتقاتل على البيوفيلم الميكروبية، وربما كانت معظم القارات جافة و صخرية لعدم وجود الغطاء النباتي. وتحيط البحار الضحلة على حدود عدة قارات تكونت أثناء

تفكك القارة العملاقة بانوتيا. البحار كانت دافئة نسبيا، وكان الجليد القطبي غير موجود في هذه الفترة.

كانت درجة الحرارة خلال الكامبري دافئة بمتوسط يصل إلى 21 درجة مئوية، ونسبة الأكسجين في الجو 12.5%، كما وصل تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو نحو 4500 جزء في المليون جزء وهذا أعلى نحو 16 مرة من تركيزه في عصرنا الحديث قبل الثورة الصناعية.

الحقبة الوسطى

وهي الحقبة الجيولوجية الوسطى. وفيها عصر الزواحف الكبرى قبل 248 إلى 65 مليون سنة. وظهر فيه عصر الثدييات التي استمرت حتى عصرنا الحالي . تضم الحقبة الوسطى ثلاثة عصور جيولوجية: العصر الترياسي و العصر الجوراسي و العصر الطباشيري: (شكل: وصف الحقب الجيولوجية)



العصر الثلاثي (الترياسي): Triassic Period: العصر الثلاثي بعد حدث انقراض العصر البرمي الترياسي قبل 250 مليون سنة . بدأ العصر الترياسي منذ 230 وانتهى قبل 180 مليون سنة . فيه ظهرت الديناصورات الأولية و الثدييات والقواقع وبعض الزواحف كالسلحفاة و الذباب و النباتات الزهرية . وقد انتهى هذا العصر بانقراض صغير قضى على 35% من الحيوانات منذ 213 مليون سنة (أنظر الصورة) بما فيها بعض البرمائيات والزواحف البحرية مما جعل الديناصورات تسود في عدة جهات فوق الأرض.

العصر الجوراسي: Jurassic period: عصر الديناصورات العملاقة منذ 181 إلى 135 مليون سنة، وفيه ظهرت حيوانات الدم الحار وبعض الثدييات والنباتات الزهرية. مع بداية ظهور الطيور و الزواحف العملاقة بالبر والبحر. ومنذ 170 إلى 70 مليون سنة كانت توجد طيور لها أسنان وكانت تتقنق وتصدر فحيحا. كما ظهرت في هذه الفترة الدبلودوكس أكبر الزواحف التي ظهرت وكانت تعيش في المستنقعات، وكان له رقبة ثعبانية طويلة ورأس صغير يعلو به فوق الأشجار العملاقة. وظهرت الزواحف الطائرة ذات الشعر والأجنحة وكانت في حجم الصقر. وظهر طائر الإركيوبتركس وهو أقدم طائر وكان في حجم الحمامة. وكانت أشجار السرخس ضخمة ولها أوراق متدللية فوق الماء وأشجار الصنوبر كان لها أوراق عريضة وجلدية (حاليا أوراقها إبرية). ومنذ 139 مليون سنة ظهرت الفراشات و حشرات مثل النمل والنحل البدائية. وقد حدث به انقراض صغير قبل 190 إلى 160 مليون سنة.

العصر الطباشيري (الكريتاسي) : Cretaceous period منذ 135 إلى 65 مليون سنة. وفي آخره قبل 65 مليون سنة انقرضت الديناصورات بعد أن عاشت فوق الأرض 100 مليون سنة ، ويسمى حدث انقراضها انقراض العصر الطباشيري-الثلاثي.

زادت في العصر الطباشيري (الكريتاسي) أنواع وأعداد الثدييات الصغيرة البدائية كالكنغر و النباتات المزهرة التي انتشرت . وظهرت أشجار البلوط و الدردار و الأشنات . كما ظهرت الديناصورات ذات الريش و التماسيح . ومنذ 120 مليون سنة عاشت سمكة البكنودونت الرعاشة وطيور الهيسبرنيس بدون أجنحة والنورس ذو الأسنان وكان له أزيز وفحيح . وكانت الزواحف البحرية لها أعناق كالثعابين . ومنذ 100 مليون سنة ظهرت سلحفاة الأركلون البحرية وكان لها زعانف تجدف بها بسرعة لتبتعد عن القروش وقناديل البحر . ومنذ 80 مليون سنة كان يوجد بط السورولونس العملاق الذي كان يعيش بالماء وكان ارتفاعه 6 م وله عرف فوق رأسه . وفي هذه الفترة عاش ديناصور اليرانصور المتعطش للدماء وكان له ذراعان قصيرتان وقويتان ليسير بهما فوق اليابسة ، وكانت أسنانه لامعة وذيله لحمي طويل وجليظ ومخالبه قوية وكان يصدر فحيحا . وكان يوجد حيوان الإنكلوصور الضخم وهو من الزواحف العملاقة وكان مقوس الظهر وجسمه مسلح بحراشيف عظمية .

وشهد هذا العصر نشاط الإزاحات لقشرة الأرض وأنشطة بركانية ، وفيه وقع انقراض أودي بحياة الديناصورات منذ 65 مليون سنة ، وقضي على 50% من أنواع اللافقاريات البحرية . وتشير البحوث إلى أن سببه مذنّب هائل هوي وارتطم

بالأرض مما غطى سماء الأرض بالغبار والغازات فحجبت الشمس لسنين طويلة و نشاط البراكين المحتدمة التي تفجرت فوقها. ومنذ 70 مليون سنة ظهرت حيوانات صغيرة لها أنوف طويلة، وكانت تمضغ الطعام بأسنانها الحادة وتعتبر الأجداد الأوائل للفيلقو الخرتيت و أفراس البحر و الحيتان المعاصرة.

بدأت الحقبة الوسطى التي استغرقت نحو 140 مليون سنة (بين 200 إلى 65 مليون سنة سبقت) بعد حدث انقراض العصر البرمي الترياسي عند نهاية العصر البرمي ، ولا زال سبب هذا الانقراض غير معروف ؛ وفي هذا الحدث الأكبر في تاريخ الأرض أودت بحياة نحو 75% - 90 % من جميع ما على الأرض من حيوانات ونباتات . وقد ساعد ذلك على تطور أنواع جديدة من النبات والحيوان.

ظهرت الديناصورات التي سادت في الأرض ، ثم انقرضت هي الأخرى بعد أن عاشت نحو 100 مليون سنة ، حيث حدث انقراض آخر وهو انقراض العصر الطباشيري-الثلاثي قبل 65 مليون سنة. في هذا الانقراض ماتت الديناصورات و بقيت أسلاف الطيور وأسلاف التماسيح التي نعاصرها اليوم.

وتطورت حيوانات بتيروصورات و أنواع كثيرة من الزواحف المائية ، ولكنها انتهت هي الأخرى وانقرضت في أواخر الحقبة الوسطى قبل 65 مليون سنة.

وظهرت خلاف ذلك حيوانات ثديية صغيرة وكبيرة ، كما ظهرت أوائل النباتات المزهرة ومع معظم أنواع الأشجار الموجودة حالياً.

توجد مؤشرات إلى سقوط نيزك كبير في نهاية الحقبة الوسطى على شبه جزيرة يوكاتان في المكسيك . يعتبر هذا الحد هو سبب انقراض العصر الطباشيري-الثلاثي الذي أدى إلى انقراض نحو 50% من جميع الحيوانات والنباتات ؛ ومن ضمنها انقرضت أيضا الديناصورات و الديناصورات الطائرة و الأمونيت و البليمنويديا) حيوانات بحرية تشبه الرأسقدميات (، وكذلك معظم ما كان يعيش من الزواحف البحرية.

بدأت الحقبة بحدث انقراض عظيم يعتبر أشد الاحداث التي حدثت على الأرض وهو انقراض العصر البرمي الترياسي وانتهت انقراض العصر الطباشيري-الثلاثي قبل 65 مليون سنة.

أدى هذا الحدث الأخير إلى انقراض الديناصورات وبعض الحيوانات الأخرى وبعض النباتات ، وقضي على نحو 50% من الحياة على الأرض. وعاصرت الحقبة الوسطى انفصال القارة العظمى بانجيا إلى لوراسيا في الشمال و غندوانا في الجنوب . ثم انشقت تلك القارتان الكبيرتان تدريجيا لتتخذ شكلا قريبا مما نعاصره الآن من توزيع لليابسة ، ونشأة للفصول المناخية ، وبدأ تجمد الجليد عند القطبين الشمالي والجنوبي.

كانت الأرض بصفة عامة أدفأ مما هي عليه الآن. ظهرت الديناصورات في أواخر العصر الثلاثي (الترياسي) ، وسادت على جميع الحيوانات الفقرية خلال العصر الجوراسي ، وظلت السائدة لمدة 135 مليون سنة حتى انقرضت خلال انقراض العصر الطباشيري.

ظهرت الطيور أول مرة خلال الجوراسي وتطورت من أحد فروع الثيروبودا من الدينوصورات . كما ظهرت أيضا أوائل الثدييات خلال الحقبة الوسطى ولكنها كانت صغيرة الأحجام ولا تزيد عن 15 كيلوجرام. استطاعت الطيور والثدييات والتماسيح المعيشة بعد انقراض العصر الطباشيري-الثلاثي وتطورت إلى ما نعهده اليوم من حيوانات.

الحقبة المعاصرة

وهي حقبة زمنية امتدت من 65.5 مليون سنة مضت إلى الوقت الحالي. الكلمة الإنجليزية "سينوزي" تعني الحياة الحديثة وقد أشتقت من الكلمتين اليونانيتين (καίνος - كينوس (وتعني "حديث - ζῳή) + "زوي (وتعني "الحياة". بدأت هذه الحقبة بعد أحداث انقراض العصر الطباشيري-الثلاثي في نهاية عصر الكريتاسي والتي شهدت زوال آخر الديناصورات الغير طائرة (فضلا عن غيرها من النباتات البرية والبحرية والحيوانات) ونهاية حقبة الميسوزي تعرف الحقبة المعاصرة أيضا بعصر الثدييات، لأن انقراض الديناصورات الغير طائرة سمح بالتنوع الكبير للثدييات و سيطرتها على الأرض.

دهر البشائر

يمتد من 542 مليون سنة مضت حتى زمننا هذا. وهو أحد دهور الجدول الزمني الجيولوجي الذي ظهرت فيه الحياة المركبة لأول مرة. ويبدأ في الوقت الذي ظهرت فيه الحيوانات القشرية (الأصداف) لأول مرة. كان يعتقد بأن الحياة قد بدأت في الكمبري، أول عصر في هذا الدهر. يسمى الوقت الذي قبل دهر

البشائر، زمن ما قبل الكمبري، الذي ينقسم إلبالدهر الجهني، الدهر السحيق، ودهر الطلائع.

يشمل المدة الزمنية لدهر البشائر:

- ظهور سريع لعدد من الشعب الحيوانية.
- تطور هذه الشعب إلى أشكال متنوعة.
- ظهور النباتات البرية.
- نمو النباتات المعقدة.
- تطور من الأسماك.
- ظهور الحيوانات البرية.
- تطور الحيوانات الحديثة.

وانجرفت القارات لتجتمع في النهاية في كتلة واحدة تعرف باسم بانجيا ثم أنقسمت إلى ماهي عليه الآن.

التغير المناخي في الأرض وتأثيره على التاريخ الجيولوجي

نظرة عامة

يعتبر مناخ الأرض مناخ متقلب طبيعيا، حيث يتقلب بين الارتفاع والانخفاض في الحرارة على مر الزمن منذ مئات وآلاف السنين. إنّ الأرض حاليا في فترة

من الارتفاع في الحرارة منذ نهاية العصر الجليدي القصير الذي حل بأوروبا وشمال أمريكا في بداية القرن السابع عشر. وفي السنوات الأخيرة، ظهرت هناك مخاوف من إمكانية تأثير النشاطات البشرية على العمليات الطبيعية التي تنظم درجة الحرارة على الأرض. بشكل خاص، فإن عملية استخدام الوقود في إنتاج الطاقة وتقليص مساحة الغابات أدى إلى زيادة كمية ثاني أكسيد الكربون إلى الجو بنسبة هائلة حيث أصبح دورة ثاني أكسيد الكربون الطبيعية في الجو غير قادرة إلى استيعاب هذه الكمية مما يؤدي إلى تراكمها في الغلاف الجوي. لكن يبقى هناك سؤال، ما مدى تأثير وجود ثاني أكسيد الكربون وبعض الغازات الأخرى في الجو على التغير في المناخ؟.

إنّ درجة حرارة الأرض متأرجحة لكن ضمن نطاق يبقيا ملائمة للحياة، وذلك نتيجة لما يسمى بـ "ظاهرة الدفيئات". تحدث هذه الظاهرة نتيجة تجمع غاز ثاني أكسيد الكربون وبعض الغازات الأخرى مثل غاز الميثان وبخار الماء "غازات الدفيئات" على شكل غلاف يحيط بالأرض يختلف تركيزه من منطقة لأخرى، ومن ميزات هذا الغلاف هو انه يسمح بمرور الأشعة ذات التردد المنخفض ويمنع ذات التردد العالي. إن الأشعة القادمة من الشمس والتي تكون عادة ذات تردد منخفض تمر من خلاله نحو الأرض، وعند وصولها الأرض تمتص الأرض جزء من طاقة الأشعة وتعكس الباقي إلى الجو مرة أخرى ولكن بتردد عالي على شكل أشعة تحت حمراء حيث يتم امتصاصها في هذا الغلاف الغازي مما يؤدي إلى اكتسابه بعض طاقة ويقوم بدوره بإعادة إرسالها نحو الأرض مما يشكل مصدر إضافي للطاقة. إنّ النتيجة النهائية لهذه العملية هي

إعادة توزيع الطاقة بحيث يجعل الحرارة في الطبقة ما بين الغلاف والأرض مرتفعة والتي فوق الغلاف منخفضة. إن هذه الظاهرة وما يرافقها من ارتفاع في درجة حرارة سطح الأرض تجعل من الأرض كوكب مناسب لكافة أشكال الحياة.

لكن بعد الثورة الصناعية، ارتفع تركيز غازات الدفيئات في الجو مما يعني ازدياد كمية الأشعة الممتصة وكمية الطاقة التي تنعكس نحو الأرض مما أدى إلى ارتفاع متوسط حرارة الأرض فوق المعدل الطبيعي، وهو ما أدى إلى تحويل هذه الظاهرة الطبيعية إلى ظاهرة سلبية تهدد مناخ الأرض والطبيعة. ولعل أسوء النتائج قد تكون في ارتفاع مستوى سطح البحار نتيجة التمدد الحراري للمحيطات والذوبان المحتمل لبعض طبقات الجليد والثلوج في القطب الجنوبي، وهناك أيضا مخاوف أخرى من احتمال حدوث تغير في أنماط المناخ وتوزيع الأمطار على سطح الأرض والتي قد تسبب إجهاد للنظام البيئي.

يعتبر بخار الماء في الجو من أكثر غازات الدفيئات انتشارا بالإضافة إلى مجموعة من الغازات الأخرى مثل ثاني أكسيد الكربون الميثان التي تنتج من مصادر طبيعية واصطناعية "الناتجة من النشاطات البشرية المختلفة"، وهناك غازات أخرى تنتج من مصادر صناعية مثل أكاسيد النيتروجين وغاز كلوروفلوروكاربون أو ما يعرف بـ (CFCs) الذي يستعمل في التبريد ولمكافحة النيران. تشكّل غازات الدفيئات ما مجموعة أقل من 0.1 بالمائة من غازات الغلاف الجوي وتشير المقاييس بأن كمية غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو ارتفعت من 280 إلى 360 جزء لكل مليون منذ بداية الثورة الصناعية، كما

لوحظ أن هناك ارتفاع في كمية غاز الميثان والذي يعتبر اصطناعي المصدر مثل الممارسات الزراعية مثل تربية الماشية ومزارع الأرز ومصادر أخرى.

ما هو المجهول؟

أن التنبؤات في ارتفاع درجة الحرارة سطح الأرض جاءت من برامج الكمبيوتر التي تمثل مناخ الأرض (نمذجة المناخ) حيث تقوم بربط المبادئ النظرية والمعلومات المتوفرة حول أنماط المناخ الماضية. إن الزيادة في غازات الدفيئات من المصادر الاصطناعية معروفة ببعض الحقيقة، لكن القليل يعرف حالياً حول الأجزاء المهمة الأخرى في هذا الموضوع. النقاش العلمي ما زال مستمرا حول مدى مساهمة غازات الدفيئات الاصطناعية في رفع درجة الحرارة سطح الأرض. لقد أظهرت الأبحاث العلمية العلاقة بين المحيطات ولأرض والمحيط الحيوي والجو وتأثيرها على المناخ، لكن يبقى هناك بعض الغموض وهو هل في زيادة كمية بخار الماء والغيوم في الجو أي أثر في زيادة أو نقص درجة حرارة سطح الأرض. هذا بالإضافة إلى أن برامج الكمبيوتر لا تستطيع تحديد نوعية التأثير لهذه الظاهرة إقليمية، فعلا سبيل المثال، بينما بعض المناطق قد تستفيد من مناخ أكثر دفأً وفصول دافئة أطول، وفي المقابل يكون هناك مناطق أخرى قد تعاني من الجفاف.

ما هي المخاطر والمعوقات؟

أن الثورة الصناعية والنمو الاقتصادي في الدول المتطورة أعتمد بشكل أساسي على الوقود الغني بالكربون "الوقود الاحفوري" كمصدر للطاقة. مع أنه تم

تطوير وتحسين نوعية الوقود ورفع كفاءة طرق استعمال الطاقة، لكن يبقى الوقود الغني بالكربون المصدر الرئيسي للطاقة المستخدمة في المواصلات وتوليد الكهرباء. ففي دول مثل الهند والصين، ذات الكثافة السكانية العالية، تعتمد جميع أشكال التطور والنمو فيها على الوقود الأحفوري إذ أنه غير مكلف ومتوفر بسهولة. لهذا فإنه من الصعب صياغة اتفاقية دولية للتخفيض من إشعاعات غاز ثاني أكسيد الكربون وغازات الدفيئات الأخرى.

إن درجة المعرفة العلمية حول تغيير المناخ العالمي تزداد وتتغير باستمرار. معظم الكتب الدراسية تسرد فقط بعض الأمور المحدودة حول هذا الموضوع المعقد، ولهذا يحتاج المعلمون إلى الاستعانة بمراجع خارجية للتزود بالمعلومات الإضافية. هذا بالإضافة إلى أن العديد من الكتب الغنية بالمعلومات المفيدة جدا عن موضوع تغيير المناخ العالمي قد أصدرت في السنوات الأخيرة.

دورة الكربون في الطبيعة والأسس الجوية

إنّ نظام الأرض مكون من تفاعل الأنظمة الأربعة الرئيسية وهي الهواء والماء والأرض والمحيط الحيوي (الكائنات الحية). أن دورة المادة والطاقة خلال هذه الأنظمة الفرعية متوازنة على المدى القصير والبعيد. فعلا سبيل المثال، إن المواد الضرورية لاستمرار الحياة مثل الكربون والنيتروجين والكبريت، والفسفور تمر في دورة طبيعية في الأرض والجو والمحيطات والمحيط الحيوي من خلال عمليات طبيعية مثل عملية التركيب الضوئي والتنفس والتحلل للمواد العضوية وغيرها.

يعتبر الكربون المادة الأساسية في عملية البناء الحيوي لجميع الكائنات الحية. ان كميات كبيرة من الكربون مخزونة في الوقود الاحفوري والذي هو بقايا نباتات وكائنات حية مدفونة تحت الأرض في طبقة الصخور الرسوبية. إن عملية استخدام هذا الوقود أدت إلى إضافة ثاني أكسيد الكربون إلى الجو بكميات كبيرة في فترة زمنية اقصر بكثير من التي تحدث نتيجة العمليات الطبيعية مثل البراكين والحرائق وعمليات التنفس والتحلل البيولوجي للكائنات الحية. وكما ذكر سابقا، فان غاز ثاني أكسيد الكربون يلعب دور أساسي في تنظيم درجة حرارة سطح الأرض. من المعروف أن جميع غاز ثاني أكسيد الكربون لا يبقى في الهواء، فهناك كميات كبيرة يتم استهلاكها في عملية التمثيل الضوئي في النبات كما أن جزء كبير أيضا تمتصه مياه الأمطار والبحار والمحيطات. فعلى سبيل المثال أدت عمليات إزالة الغابات إلى حدوث خلل في دورة ثاني أكسيد الكربون في الجو.

ظاهرة الدفيئات

إن ظاهرة الدفيئات هي ظاهرة طبيعية وتساهم في وجود بيئة طبيعية مناسبة للحياة على الأرض. وكان أول من لاحظ وجود هذه الظاهرة هو عالم الرياضيات جوزف فوريير في 1824 وفي أواخر القرن التاسع عشر أوضح العالم سفانتي آريهينيوس بأن ثاني أكسيد الكربون الناتج عن احتراق الوقود الاحفوري يساهم في تطور ظاهرة الدفيئات. وكما أشرنا سابقا فإن وجود غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو مع بعض الغازات الأخرى مثل بخار الماء وغاز الميثان يعمل على رفع درجة حرارة الأرض عن طريق امتصاصه لأشعة

الشمس المنعكسة عن الأرض (حوالي 47 بالمائة من مجموع الأشعة الساقطة على الأرض) ذات التردد العالي ثم تقوم بإعادتها إلى الأرض مما يساهم في زيادة درجة حرارة الأرض. وقد سميت هذه الظاهرة بظاهرة الدفيئات لأنها تشبه في عملها عمل الدفيئات الزراعية.

يتكون الهواء المحيط بالأرض بشكل أساسي من غاز النيتروجين (78 بالمائة) والأكسجين (21 بالمائة)، و غاز الأرجون (تقريبا 1 بالمائة) حيث تشكل في مجموعها ما نسبته 99.9 بالمائة من الجو. يحتوي الجو أيضا على بخار الماء، الذي يتفاوت في تركيزه حول الأرض طبقا للأحوال الجوية اليومية. كذلك يوجد غازات أخرى مثل ثاني أكسيد الكربون، الميثان، الأوزون، ثاني أكسيد النيتروجين، وثاني أكسيد الكبريت لكن نسبتها قليلة بالنسبة للغازات الأخرى حيث تشكل في مجموعها أقل من 0.1 بالمائة من الجو، لكن بعكس الأكسجين والنيتروجين فإن هذه الغازات قادرة على امتصاص الأشعة تحت الحمراء.

على الرغم من أن ثاني أكسيد الكربون من أكثر غازات الدفيئات شيوعا إلا أن بخار الماء يعتبر الأكثر أهمية من ناحية قدرته على امتصاص الأشعة تحت الحمراء، لهذا فإن أي تغيير بسيط في نسبة بخار الماء في الجو يمكن أن تعوض تغيير كبير في نسبة ثاني أكسيد الكربون. من غازات الدفيئات الأخرى يأتي غاز الميثان، وأكاسيد النيتروجين والكلوروفلوروكربون (CFCs) ولهذه الغازات قدرة كبيرة على امتصاص الأشعة تحت الحمراء وكذلك فترة بقائهن في الجو طويلة.

المناخ والطقس

الطقس هو عبارة عن الأحوال الجوية "درجة الحرارة، الرطوبة، الأمطار أو الرياح" التي تسود منطقة ما خلال فترة زمنية قد تمتد لأيام أو أسابيع أو أشهراً. أما المناخ فهو معدل الطقس لمدة طويلة لا تقل عن ثلاثين عاماً. المناخ العالمي هو النظام الذي يوزع الطاقة الشمسية على سطح الأرض. إن التسخين الغير متساوي لسطح الأرض يسبب الرياح التي تنقل الحرارة من خط الاستواء الحار إلى القطبين الباردین. تقوم المحيطات بخرن الطاقة الشمسية ونقلها حول العالم على طريق التيارات المائية العميقة الضخمة المعروفة بـ "حزام النقل العظيم للمحيط". أن نظام نقل الحرارة عن طريق المحيط والرياح وتفاعلاتهم مع بعضهم البعض غير واضح علمياً حتى الآن.

أل نينو ولا نينا: El Nino And La Nina

إنّ التفاعل بين تيارات المحيط والطقس العالمي يتمثل بالظاهرة المعروفة بـ أل نينو ولا نينا. وبشكل دوري، فإن تيار المحيط الغربي الخارج من ساحل البيرو يتوقف مسبباً طاقة حرارية في مياه جنوب المحيط الهادي التي تؤثر على أنماط الطقس ومعدل درجات الحرارة العالمية وهذه الظاهرة تعرف بـ أل نينو. في أحيان أخرى يكون التيار الغربي أقوى من معدلة مما يؤدي إلى تبديد الطاقة الحرارية في المحيط الهادي. وعندما تصبح درجة حرارة المحيط الهادي أبرد من المعدل فإنها تؤدي إلى اخفض درجات الحرارة عالمياً، وهذه الظاهرة تعرف بـ لا نينو.

المناخ في الماضي

إن تقييم التأثير البشري على التغير في المناخ معقد لأنه يصعب التمييز بين التغيرات المناخية الناتجة عن التأثيرات الإنسانية وتلك الموجودة أصلاً نتيجة التأثيرات الطبيعية. يمكن الاستدلال على أنماط المناخ السائدة في الماضي عن طريق فحص بعض البقايا الرسوبية المتحجرة أو الكتل الجليدية، ويتم دراسة بيانات المناخ السابقة في محاولة لفهم أسباب تغير المناخ ولمعرفة نتائجه وذلك للاستفادة منها في تخمين تغيرات المناخ المستقبلية.

أن برامج الكمبيوتر التي تتمزج المناخ (تعمل عمل نظام المناخ) إنما هي نماذج رياضية مستندة على تلك التي تستعمل للتنبؤ بأنماط الطقس المحلية، ولمعالجة العديد من المتغيرات والمعادلات الرياضية في هذه النماذج فلا بد وجود كمبيوترات سريعة في معالجة النظم حتى نتمكن من التنبؤ بتغيرات المناخ المستقبلية (نمذجة التغيرات المستقبلية للمناخ). إن نظام المناخ العالمي معقد، وأن العلاقة والتفاعلات القائمة بين المحيطات والغيوم ما زالت غير واضحة، وأن نماذج الكمبيوتر تعالج هذه العوامل بشكل منفصل. أن درجات الحرارة العالمية لم ترتفع كما تنبأت بها نماذج الكمبيوتر، وهذا ما قاد العلماء للبحث عن عوامل أخرى، مثل رذاذ الكبريتات الذي يعتقد أن له قدرة على التبريد ويعمل على موازنة الارتفاع في الحرارة العالمية.

ما هو المجهول؟

لا يوجد هناك أدنى شك بأن تركيز ثاني أكسيد الكربون وغازات الدفيئات الأخرى زادت في الجو منذ بداية الثورة الصناعية، وأن لهذه الغازات القدرة على امتصاص الأشعة تحت الحمراء. هناك عدد من العمليات الطبيعية التي تحدث في الجو أو على الأرض لا يوجد لها أساس علمي وغير واضحة حتى الآن. فعلى سبيل المثال قضية الكربون "المفقود"، وذلك أن حوالي نصف كمية ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن حرق الوقود الأحفوري أو من مصادرة الطبيعة تبقى في الجو، أما النصف الآخر فيعتقد أنه تتم إزالته عن طريق ذوبانه في المحيطات وفي عملية التركيب الضوئي في النبات، ولكن المساهمة النسبية لهاتين العمليتين ليست معروفة. كذلك إن مقدار وتوقيت أي ارتفاع في الحرارة العالمية في أي بقعة جغرافية وتأثيرها ما زال مسألة نقاش وبحث.

إن صناع القرار في الولايات المتحدة والبلدان الأخرى يسعون إلى وضع اتفاقية حول الإجراءات اللازمة لتخفيض كمية غازات الدفيئات الناتجة عن النشاطات البشرية (اصطناعية المصدر) والعمل على تخفيف تأثيرها المحتمل على المناخ. في عام 1997 تم إبرام معاهدة كيوتو الخاصة بالتغير في درجة حرارة المناخ والتي وقّعت عليها العديد من الدول (لكن لم يصادق عليها حتى الآن) والذي يهدف إلى إلزام الدول الصناعية الكبرى لتخفيض إشعاعاتها من غاز ثاني أكسيد الكربون وغازات الدفيئات الأخرى. لكن يوجد هناك خلاف جدي واحد هو أن الدول النامية والكبيرة مثل الهند والصين لن تخضع لقيود هذه المعاهدة على الرغم من أن استهلاكهم للطاقة سيعتدي الولايات المتحدة في

السنوات القادمة. تقترح معاهدة كيوتو آليات لتشجيع الدول المتطورة على نقل خبراتهم في استخدام الطاقة ومكافحة التلوث إلى الدول النامية.

المصادر والمراجع

- العمري، فاروق صنع الله، وعامر داود نادر، 2013: (مبادئ الجيولوجيا التاريخية). وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة الموصل، 628 صفحة.
- ساندرس، جون، وألان أندرسون، 2008: (الجيولوجيا الفيزيائية). ترجمة مجيد عبود الطائي، 1983، منشورات جامعة البصرة، جزءان، 894 صفحة.
- عزيز، رافد محمود؛ الحافظ، نبيل مصطفى؛ السمان، عزام؛ اسود، خالد جلال،
- (علم الصخور المتحولة). وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، مطبعة جامعة الموصل، العراق 1987. 239 ص.
- ميسن، روجر. رافد محمود عزيز (مترجم)، (علم الصخور المتحولة). وزارة التعليم العالي والبحث العلمي، جامعة الموصل، العراق 1988. 353 ص
- بدر نعمة البدران، مقالات عن الصخور وانواعها، جامعة البصرة- كلية العلوم- علم الأرض.
- نورست الصباح، مقالات عن تصنيف الصخور الرسوبية، جامعة البصرة- كلية العلوم- علم الأرض.
- علي مفتاح الجرجر، علم المياهيات، دار الأمل الكويتية - الكويت 2009 ط1.

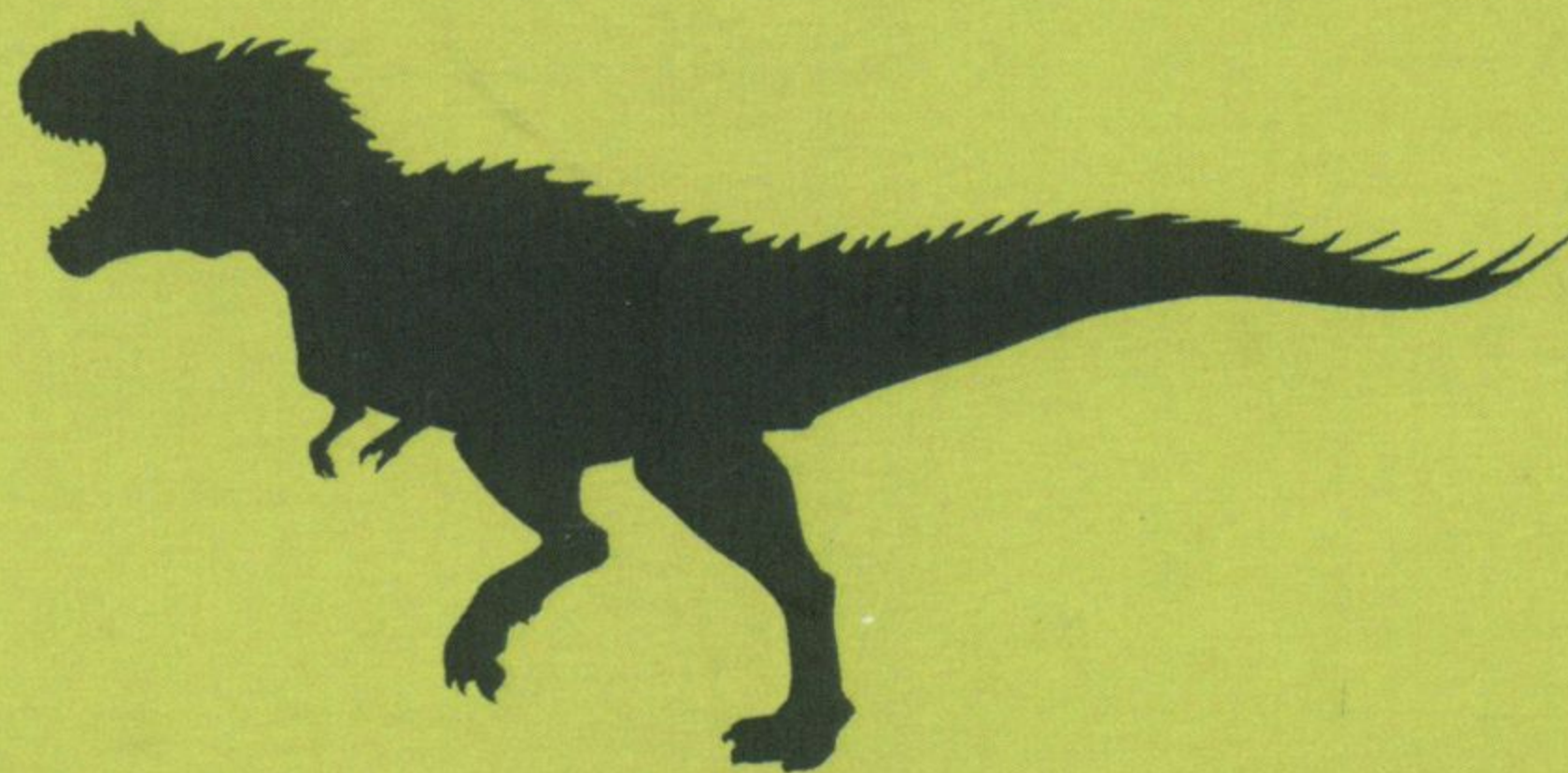
- عبدالله هاللّ المعموس، طبقات الأرض. دراسة شاملة. منشورات مجلة الصفاء الموريتانية- نواكشوط 2005.

الفهرس

الموضوع	الصفحة
المقدمة	3
الفصل الأول	5
التعريف وأصل المصطلح	
تعريف علم الجيولوجيا Geology	7
الأغلفة المكونة للأرض بوجه عام	12
دراسة الجيولوجيا الطبيعية	34
الفصل الثاني	41
مقدمة عامة في علم الأحافير	
الأحافير	43
أهمية الأحافير	54
الدينامصورات كأهم الأحافير المكتشفة	61
الفصل الثالث	87
المعادن والصخور	
المعادن	89
علاقة علم المعادن بالعلوم الطبيعية الأخرى	91
طبيعة المعادن	95
البلورات والخواص البلورية للمعادن	99
الفصل الرابع	133
علم الصخور	
علم الصخور	135

137	تأثير المناخ في تكوين الصخور (العوامل السطحية)
143	الفصل الخامس طبقات الأرض
145	طبقات الارض
150	التاريخ الجيولوجي للأرض
162	التغير المناخي في الأرض وتأثيره على التاريخ الجيولوجي
173	المصادر والمراجع
175	الفهرس

علم الأحافير والجيولوجيا

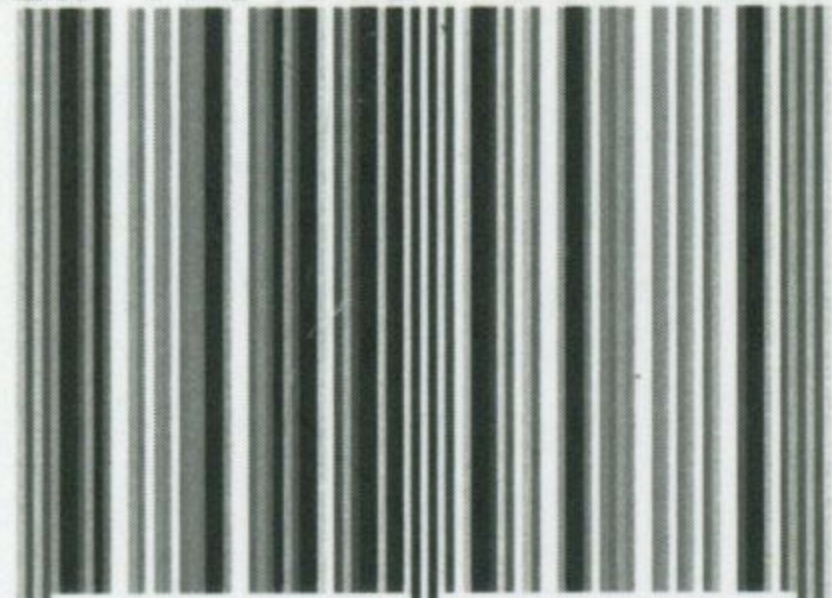


دار الجنادرية للنشر والتوزيع
دار يافا العلمية للنشر والتوزيع

الأردن - عمان - الأشرفية
تلفاكس ٠٠٩٦٢٦٤٧٧٨٧٧٠

جوال 962796296514
ص.ب ٥٢٠٦٥١ عمان ١١١٥٢ الأردن
Email: dar_yafa@yahoo.com
dar_janadria@yahoo.com

ISBN 978-9957-580-78-0



9 789957 580780 >

Bibliotheca Alexandrina



1503288